

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/30.12.2019.Gr.01.06 RAQAMLI ILMIY KENGASH
ASOSIDA TUZILGAN BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

ARABOV OBIDJON ZARIP O‘G‘LI

**ZAMONAVIY SUN‘IY YO‘LDOSH TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA
FARG‘ONA VODIYSI HUDUDINING BALANDLIK TIZIMINI
HISOBLASHNI TAKOMILLASHTIRISH**

11.00.07 – Geoinformatika

**GEOGRAFIYA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2023

**Geografiya fanlari bo'yicha falsafa (PhD) doktori dissertatsiyasi
avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по географическим наукам**

**Content of dissertation abstract of doctor philosophy (PhD) on
geographical sciences**

Arabov Obidjon Zarip o'g'li

Zamonaviy sun'iy yo'ldosh texnologiyalari asosida Farg'ona vodiysi hududining
balandlik tizimini hisoblashni takomillashtirish.....3

Арабов Обиджон Зарип угли

Совершенствование вычисления системы высот Ферганской долины на основе
современных спутниковых технологий.....21

Arabov Obidjon Zarip ugli

Improvement of the height system calculation of the Fergana Valley region based
on modern satellite technologies.....39

E'lon qilingan ilmiy ishlar ro'uxati

Список опубликованных работ

List of published works.....43

**O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/30.12.2019.Gr.01.06 RAQAMLI ILMIY KENGASH
ASOSIDA TUZILGAN BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

ARABOV OBIDJON ZARIP O‘G‘LI

**ZAMONAVIY SUN‘IY YO‘LDOSH TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA
FARG‘ONA VODIYSI HUDUDINING BALANDLIK TIZIMINI
HISOBLASHNI TAKOMILLASHTIRISH**

11.00.07 – Geoinformatika

**GEOGRAFIYA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2023

Geografiya fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar mahkamasi huzuridagi Oliy Attestatsiya komissiyasida B2022.1.PhD/Gr191 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya O'zbekiston Milliy universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezume)) Ilmiy kengash web-sahifasida (www.nuu.uz) va «Ziyonet» Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Fazilova Dilbarxon Shamuradovna

fizika-matematika fanlari doktori,
katta ilmiy xodim

Rasmiy opponentlar:

Rafikov Vahob Asomovich

geografiya fanlari doktori, professor

Sabitov Timur Yuryevich

geografiya fanlari falsafa doktori (PhD)

Yetakchi tashkilot:

Qoraqalpoq davlat universiteti

Dissertatsiya himoyasi O'zbekiston Milliy universiteti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.03/30.12.2019.Gr.01.06 raqamli Ilmiy kengash asosidagi bir martalik ilmiy kengashning 2023-yil 6-oktabr soat 14:00 dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100174, Toshkent, Universitet ko'chasi, 4 uy. Tel.: (+99871) 227-12-24, faks: (+99871) 246-53-21; 246-02-24. e-mail: ik-geografiya.nuuz@mail.ru. (O'zbekiston Milliy universiteti, Geografiya va geoaxborot tizimlari fakulteti).

Dissertatsiya bilan O'zbekiston Milliy universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№__ raqami bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 100174, Toshkent, Universitet ko'chasi, 4 uy. Tel.:(+99871) 246-67-71.

Dissertatsiya avtoreferati 2023-yil 25-sentabr kuni tarqatildi (2023-yil 25-sentabrdagi 54-raqamli reyestr bayonnomasi).

N.I.Sabitova

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik
ilmiy kengash raisi g.f.d., professor

Sh.M.Sharipov

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik
ilmiy kengash ilmiy kotibi g.f.d., dotsent

Z.N.Tojiyeva

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik
ilmiy kengash qoshidagi ilmiy
seminar raisi g.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda global navigatsiya sun'iy yo'ldosh tizimi (GNSS) texnologiyasi va geografik axborot tizimlarini (GAT) tahlil qilish vositalarining keng qo'llanilishi turli ma'lumotlar manbalaridan olingan, mahalliy hamda global koordinata tizimlariga bog'langan manzil ma'lumotlarini muvofiqlashtirish muammosini keltirib chiqardi. Bu borada Xalqaro geodeziya assotsiatsiyasi (IAG) tomonidan "...Yer yuzida xalqaro geodezik standartlarni ta'minlash uchun koordinatalarni yuqori darajada aniqlashda Xalqaro tayanch balandlik tizimini (IHRS) to'g'ri, izchil va aniq tartibda joriy etish"¹ vazifasi belgilangan. Mazkur vazifalarning yechimida, turli xil geografik obektlarining holatini to'g'ri aks ettirish va dinamikasini tahlil qilish uchun GNSS orqali aniqlangan geodezik balandliklarni normal (ortometrik) balandliklarga aylantirish dolzarb ahamiyat kasb etadi.

Jahonda mazkur yo'nalishdagi tadqiqotlarga, jumladan, davlatlar va ularning alohida hududlari uchun tayanch balandlik tizimini sun'iy yo'ldosh o'lchovlari asosida aniqligini oshirishga ustuvor ahamiyat berilmoqda. Shuningdek, Yerning global gravitatsion modellaridan (GGM) normal balandliklarni hisoblashda foydalanish samaradorligini o'rganish, GNSS o'lchovlaridan foydalangan holda balandlik anomalija qiymatlarini aniqligini va relefnining raqamli modellarining SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model), ALOS (Advanced Land Observing Satellite) vertikal aniqligini oshirishga qaratilgan tadqiqotlar muhim hisoblanadi.

Respublikamizda ko'p maqsadli Milliy fazoviy ma'lumotlar infratuzilmasi (MFMI) yaratish bo'yicha bir qancha ishlar amalga oshirilmoqda va sezilarli ijobiy natijalarga erishilmoqda. 2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida «..tabiiy muhit davlat monitoringining elektron ma'lumotlar bazasi ma'lumotlarini Yagona geoaxborot ma'lumotlar bazasiga kiritib borish»² yuzasidan muhim vazifalar belgilab berilgan. Bu borada, jumladan, Farg'ona vodiysi kabi mamlakatimizning aholi zich joylashgan sanoat hududlarida zamonaviy innovatsion sun'iy yo'ldosh texnologiyalari asosida balandlik tizimini hisoblashni takomillashtirish va geoaxborot ta'minoti samaradorligini oshirishga yo'naltirilgan tadqiqotlar muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 23-noyabrdagi PQ-429-son "Kosmik tarmoqni yanada rivojlantirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi Qarori, O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2017-yil 26-dekabrdagi 1022-son "O'zbekiston Respublikasi hududida xalqaro geodeziya koordinata tizimlarini qo'llash va ochiq foydalanish to'g'risida"gi qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan

¹ IAG Reports 2011-2015. Vol.39. <https://office.iag-aig.org/doc/5d849797745f6.pdf>

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi "2022-2026 yillarda Yangi O'zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-son farmoni

vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalarni rivojlantirish dasturining VIII.“Yer haqidagi fanlar”, IV.“Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish” ustuvor yo‘nalishlariga mos keladi.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Zamonaviy sun‘iy yo‘ldosh texnologiyalari asosida balandlik tizimini takomillashtirish, jumladan sun‘iy yo‘ldosh nivelirlash usullaridan foydalanish nazariy, metodologik va texnologik masalalari xorijlik olimlardan A.Barthelmes, U.Falchi, Z.Altamimi, W.Köhler, M.Soycan, S.Doganalp, M.El-Ashqer, Mustaqil Davlatlar Hamdo‘stligi mamlakatlarida I.I.Pomeransev, P.K.Zalesskiy, F.A.Sludskiy, I.M.Kravchuk, V.B.Nepoklonov, V.I.Obidenko, O.A.Opritova, A.P.Reshetov, D.A.Shoganbekova va boshqa bir qator olimlarning ilmiy ishlarida qisman o‘z aksini topgan.

Gravimetrik usullar yordamida aniqlaqqan geoid modeli bo‘lmagan hududlar uchun ko‘plab ishlar GGM ma‘lumotlariga ko‘ra balandlik anomaliyalarining qiymatlaridan foydalanadi. Geodezik (ellipsoidal) balandliklarni normal balandlikka aylantirish uchun eng aniq ikkita birlashtirilgan GGM qo‘llaniladi: EGM2008 (Earth Gravitational Model, 2008) va EIGEN-6C4 (European Improved Gravity model of the Earth by New techniques). Biroq, so‘nggi yillarda ushbu umume‘tirof etilgan modellarni takomillashtirish uchun GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) gradiometrik missiyasi ma‘lumotlari asosida yangi GGM ishlab chiqildi, ularning aniqligi aksariyat hududlar, jumladan, O‘zbekiston Respublikasi uchun hali baholanmagan.

Yer to‘g‘risidagi fanlar sohasidagi (tektonika, ko‘chkilarni o‘rganish, foydali qazilmalarni qidirish, suv va yerdan foydalanish, tabiiy ofatlarning oldini olish va boshqalar) turli amaliy muammolar relyefning raqamli modellari (RRM) yordamida yechilgan (S.S.Sayyidkosimov, N.I.Sabitova, A.G.Stelmax, N.R.Tadjibaeva, Sh.M.Sharipov, A.N.Kazakov). Bu RRMLar aerofotosurat (X.Muborakov, A.Ruziev, O.G.Shukina, M.Ergashev, G‘.Z.Yakubov), lazerli skanerlash (I.Aripov, D.Matrasulov, Sh.Takhirov), xaritalarni gorizontallarini interpolyatsiya qilish (M.Juliev, E.R.Mirmaxmudov) va boshqa usullar yordamida yaratilgan. Ammo, aniqligiga qaramay, ushbu usullar ishlab chiqarishni tashkil etishning murakkab jarayoni va ish narxi tufayli katta maydonlarda RRM qurish uchun haligacha foydalanilmayapti. Zamonaviy masofadan zondlash texnologiyalarini qo‘llash katta maydonlarni kam xarajatli xaritaga olish imkonini berdi, bunga misol sifatida ochiq foydalanishda bo‘lgan SRTM, ASTER GDEM, ALOS kabi RRMLarni keltirish mumkin. Biroq, bu RRM fazoviy ruxsat etish qobiliyati past va ularning aniqligiga turli xatolar ta’sir qiladi. I.Elkharchy, R.N.Abdel-Maguid, T.Tadono, Z.Hu, X.Huang, V.V.Xromix, A.Chimirov, D.Sh.Fazilova, M.Bakiev, H.Hasanov kabi olimlar RRMLarning vertikal aniqligini baholagan. Biroq, respublika hududidagi amaliy hisoblash ishlarida faqatgina SRTM RRM foydalanmoqda, boshqa turdagi

ochiq relyefning raqamli modellarining vertikal aniqligini baholash va tabiiy-geografik omillarning ta'siri haligacha to'liq o'rganilmagan.

Relyefning raqamli modellarining boshlang'ich (tayanch) yuzasi WGS84 umumiy ellipsoidi hisoblanib, balandlik o'rta dengiz sathiga nisbatan o'lchanadi, shuningdek, normal balandliklar EGM96 (Earth Gravity Model) global gravitatsion modelga nisbatan balandlik anomaliyalari yordamida aniqlanadi. Ammo, balandliklarni aniqlashda xatolarni bartaraf etish va balandliklarning aniqligini oshirish masalasi parametrik modellar (yoki korreksiya yuzasi): turli bazis funksiyalariga ega bo'lgan yuqori tartibli polinomlar, chekli elementlar usullari, Fure qatorlari va kollokatsiya usullaridan foydalanish orqali hal qilinadi. Buning uchun GNSS, aerofotosyomka kabi turli yer usti geodezik o'lchovlari qo'llaniladi. Biroq, bugungi kungacha O'zbekiston hududi, jumladan, Farg'ona vodiysi uchun mavjud ochiq RRM o'rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti O'zbekiston Milliy universiteti ilmiy tadqiqotlar rejasining Uzb-Ind-2021-89-sonli "O'zbekiston va Hindistonning qurg'oqchil va yarim qurg'oqchil daryolari havzalarida suv taqchilligi hamda qurg'oqchilikka to'g'onlar va iqlim o'zgarishi ta'sirini baholash" (2021-2023) va Astronomiya institutining FA-Atab-2018-57 "O'zbekiston Respublikasi hududi geodinamik jarayonlarning tahlili asosida zamonaviy geodezik tarmog'i o'lchashlari aniqligini oshirish usulini yaratish" (2018-2020) amaliy tadqiqot loyihalari doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi Farg'ona vodiysi hududining normal balandlik tizimini hisoblashni sun'iy yo'ldosh usullari va geoaxborot texnologiyalari asosida takomillashtirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

an'anaviy nivelirlashga muqobil sifatida normal balandliklarni hisoblashda sun'iy yo'ldosh usullarini o'rganish;

ICGEM (International Centre for Global Earth Models) ma'lumotlar bazasining yuqori darajali global gravitatsion modellari asosida normal balandliklarni hisoblash usulini takomillashtirish;

global navigatsion sun'iy yo'ldoshlar tizimi o'lchovlari va Yerning global gravitatsion modellari asosida mahalliy relyefning raqamli modellari aniqligini oshirish usulini ishlab chiqish;

tabiiy-geografik omillarning relyefning raqamli modellariga ta'sirini o'rganish va vertikal aniqligini baholash.

Tadqiqotning obykti sifatida Farg'ona vodiysi hududining normal balandlik tizimi olingan.

Tadqiqot predmeti Yerning gravitatsion modellari xalqaro markazi (ICGEM) ma'lumotlar bazasining yuqori darajali global gravitatsion modellari va foydalanishda ochiq relyefning raqamli modellarining aniqligini oshirish hisoblanadi.

Tadqiqotning usullari. Dissertatsiya tadqiqotida aerokosmik, matematik modellashtirish, eksperimental tadqiqotlar, geoaxborot tizimlari yordamida tahlil

qilish, adabiyotlar va fond materiallar bilan ishlash, statistik, qiyosiy geografik kabi usullardan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi:

global gravitatsion modellardan olingan balandliklar anomaliyasi hudud relyefining murakkabligiga bog'liqligi aniqlangan;

sun'iy yo'ldosh nivelirlash va global gravitatsion modellarini birgalikda qo'llash asosida normal balandliklarni hisoblash usuli takomillashtirilgan;

relyefning raqamli modellarining aniqligini oshirishni ta'minlaydigan EGM96 (Earth Gravity Model) global gravitatsion modelining balandlik anomaliyalari uchun korreksiya yuzasi (correction surface) yaratilgan;

relyefning raqamli modellarining vertikal aniqligi geografik joylashuv, o'lchashdagi sistematik xatolik, stereojuft suratlarning yo'nalishiga va tasvirga olish usullariga bog'liqligi aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

GNSS o'lchovlari va EIGEN-6C4 global gravitatsion modellar asosida normal balandliklarni hisoblashning usuli ishlab chiqilgan;

GNSS o'lchovlari va EIGEN-6C4 global gravitatsion modellar yordamida tayanch nuqtalarining normal balandliklar ma'lumotlar bazasi yaratilgan;

GNSS va SRTM, ASTER GDEM, ALOS AW3D30 relyefning raqamli modellari ma'lumotlari asosida mukammallashtirilgan relyefning raqamli modeli yaratilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchiligi. Tadqiqot natijalarining ishonchiligi O'zbekiston Respublikasi Davlat soliq qo'mitasi huzuridagi Kadastr agentligi materiallaridan, shuningdek, zamonaviy matematik modellashtirish usullarini qo'llanilganligi, GNSS va an'anaviy o'lchovlari orqali balandlik anomaliyasini taqqoslash imkoniyati mavjudligi bilan izohlanadi. Bundan tashqari, tadqiqot natijasida, takomillashtirilgan relyefning raqamli modeli, xulosa, taklif va tavsiyalarining amaliyotga joriy etilganligi va olingan natijalarning vakolatli tashkilotlar tomonidan tasdiqlanganligi bilan asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining **ilmiy** ahamiyati gravimetrik o'lchovlari mavjud bo'lmagan hududlar uchun normal balandlikni hisoblashning uslubiy yondashuvlarini takomillashtirish, GAT va GNSS o'lchovlaridan foydalangan holda relyefning raqamli modelining aniqligini oshirish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining **amaliy** ahamiyati shundan iboratki, hududni gidrologik va tektonik jihatdan o'rganish, qurilish va tog'-kon obyektlarida ish hajmini belgilovchi takomillashtirilgan relyefning raqamli modeli respublikaning yangi milliy koordinata tizimi uchun ArcGIS dasturida topografik xaritalarni yaratishda muhim manba bo'lib xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Sun'iy yo'ldosh usullaridan foydalanib, Farg'ona vodiysi hududida normal balandliklarni aniqligini oshirish uchun olingan natijalar asosida:

Sun'iy yo'ldosh nivelirlash ma'lumotlari va global gravitatsion modellar asosida normal balandliklar qiymatini hisoblash usuli O'zbekiston Respublikasi

Davlat soliq qo‘mitasi huzuridagi Kadastr agentligida Farg‘ona vodiysi hududida dala geodeziya ishlarini bajarishda amaliyotga joriy etilgan (O‘zbekiston Respublikasi Davlat soliq qo‘mitasi huzuridagi Kadastr agentligining 2022-yil 7-dekabrda 08-11028-son ma‘lumotnomasi). Natijada, geoid ma‘lumotlari mavjud bo‘lmagan hududlarning tayanch nuqtalarning normal balandlik qiymatlarini aniqlash imkoni yaratilgan;

EGM96 global gravitatsion modeli asosida Farg‘ona vodiysi hududining mukammallashtirilgan geoid modelidan O‘zbekiston Respublikasi Davlat soliq qo‘mitasi huzuridagi Kadastr agentligi faoliyatida yangi GNSS tarmoq nuqtalarining dastlabki koordinatalarini hisoblashda foydalanilgan (O‘zbekiston Respublikasi Davlat soliq qo‘mitasi huzuridagi Kadastr agentligining 2022-yil 7-dekabrda 08-11028-son ma‘lumotnomasi). Natijada, kam texnik harajatlar bilan GNSS stansiyalar normal balandliklarini baholash imkonini bergan;

GNSS va SRTM, ASTER GDEM, ALOS AW3D30 relyefning raqamli modellari ma‘lumotlari asosida mukammallashtirilgan raqamli balandlik modeli O‘zbekiston Respublikasi Davlat soliq qo‘mitasi huzuridagi Kadastr agentligi faoliyatida suv ayriq‘ich xaritalarini yaratishda joriy qilingan (O‘zbekiston Respublikasi Davlat soliq qo‘mitasi huzuridagi Kadastr agentligining 2022-yil 7-dekabrda 08-11028-son ma‘lumotnomasi). Natijada, O‘zbekiston Milliy atlasining “Arid zonalari” bo‘limi mazmunini boyitish, ilmiy va amaliy ahamiyatini oshirish imkoniyatini bergan;

GNSS va SRTM, ASTER GDEM, ALOS AW3D30 relyefning raqamli modellari ma‘lumotlari asosida mukammallashtirilgan raqamli balandlik modeli O‘zbekiston Respublikasi Davlat soliq qo‘mitasi huzuridagi Kadastr agentligida yer resurslaridan foydalanishni rejalashtirishda amaliyotga joriy etilgan (O‘zbekiston Respublikasi Davlat soliq qo‘mitasi huzuridagi Kadastr agentligining 2022-yil 7-dekabrda 08-11028-son ma‘lumotnomasi). Natijada, yer resurslaridan oqilona foydalanish, tartibga solish va ularni kadastr hisobini olib borish ishlarini takomillashtirish imkoniyatini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 2 ta xalqaro va 6 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 15 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining dissertatsiyalarning asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 7 ta maqola, jumladan, 3 tasi xorijiy va 4 tasi respublika jurnallarida chop etilgan.

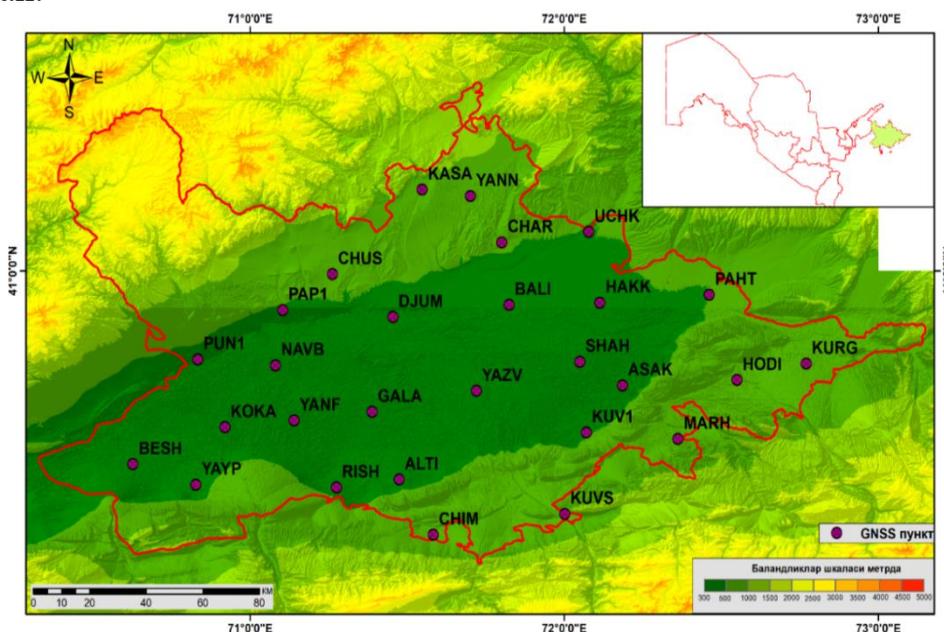
Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, uchta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxatidan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 103 betni tashkil qiladi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslangan, maqsad va vazifalari, obykti, predmeti va usullari belgilangan, tadqiqotning respublikada fan va texnikani rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi ko‘rsatilgan. Tadqiqotning ilmiy yangiligi, olingan natijalarning ishonchligini asoslangan, ularning nazariy va amaliy ahamiyatini ochib beradi, natijalarni amalga oshirish va ishning aprotatsiyasi, shuningdek, dissertatsiya tuzilishi haqida qisqacha ma‘lumot beradi.

Dissertatsiyaning birinchi bobi **“Farg‘ona vodiysining balandlik tizimini hisoblashni takomillashtirishda sun‘iy yo‘ldosh texnologiyalaridan foydalanish masalalari”** deb nomlanib, bunda geoinformatika, GAT, masofadan zondlash (MZ), geodeziya va xaritaga olish dasturlarining keng doirasi uchun GNSS sun‘iy yo‘ldosh texnologiyasi o‘lchovlaridan amaliy foydalanish bilan bog‘liq eksperimental va nazariy tadqiqotlarning adabiyot ma‘lumotlari tahlil qilindi. Hozirgi vaqtda O‘zbekiston Respublikasi hududini qamrab oluvchi mahalliy geoid modeli mavjud emas. Bugungi kunda geoidi an‘anaviy usullar bilan eng yaxshi o‘rganilgan yagona hudud Farg‘ona vodiysidir. Boshqa tomondan, ushbu hudud mintaqaning barqaror rivojlanishida tog‘-kon sanoati muammolarini hal qilish, zilzilalarni bashorat qilish va aholi xavfsizligini ta‘minlash, qurilish ishlarini qo‘llab-quvvatlash, transport infratuzilmasini rivojlantirishda zarur bo‘lgan fazoviy ma‘lumotlar bilan geoinformatsion ta‘minlash hamda kelgusida tahlil qilish uchun tanlab olingan.

Respublika hududida GNSS o‘lchovlari asosida davlat sun‘iy yo‘ldosh geodeziya tarmog‘i (DSYGT) yaratildi. Farg‘ona vodiysining DSYGT 1-rasmda ko‘rsatilgan.



1-rasm. Farg‘ona vodiysi (O‘zbekiston qismi) DSYG tarmog‘i

GNSS asosida aniqlangan balandliklar $h(P)$ bilan bog‘liq asosiy muammolardan biri bu geoid balandlik anomalialaridan $N(P)$ foydalangan holda,

o'lchash va xaritaga olishda keng qo'llaniladigan dengiz sathining o'rtacha balandligiga (MSL) $H(P)$ aylantirishdir:

$$H(P) = h(P) - N(P) \quad (1)$$

Normal balandlikni aniqlashda (1) tenglamani amaliy qo'llashda bir qator omillar ta'sir etadi. Jumladan, tasodifiy xatolar (shovqin), har xil turdagi balandliklar tayanch sirtlari orasidagi farqi, geodinamik hodisalar (tuproqning cho'kishi, subduksiya zonalarida tektonik plitalarning deformatsiyasi va boshqalar).

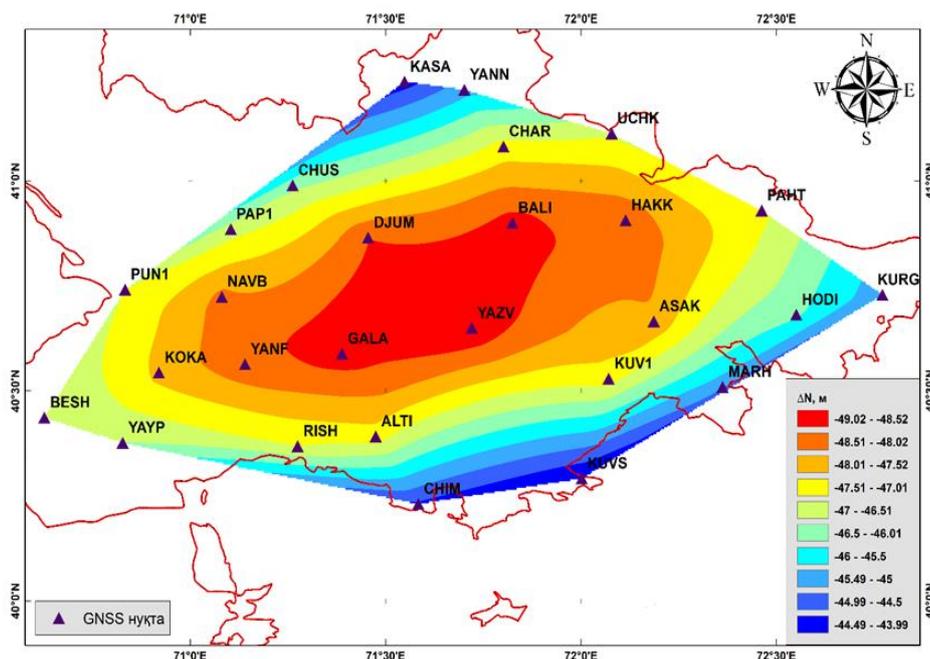
GAT asosida balandliklar tizimini hisoblashning geodezik axborot bilan ta'minlash uchun muqobil yondashuvlari sifatida ikkita asosiy yo'nalishni ajratib ko'rsatish mumkin: GGM va RRMLardan foydalanish. Respublikamizda geodeziyaning amaliy ishlarida Boltiq balandlik tizimida normal balandliklarni hisoblash uchun eng ko'p qo'llaniladigan GGM bu EGM2008 hisoblanadi. Ammo u WGS84 umumiyer ellipsoidiga nisbatan hisoblangan, bu birinchidan mutlaqo noto'g'ri. Ikkinchidan, nafaqat EGM2008 bo'yicha balandlik anomaliyalarining aniqligi, balki EIGEN-6C4 kabi yuqori darajali GGMning yangi versiyalari ham baholanmagan. So'nggi yillarda mamlakatimizda foydalanilmaydigan GOCE kabi yangi sun'iy yo'ldosh gradientometriya texnologiyasi yordamida yaratilgan GGM modellari paydo bo'ldi.

Zamonaviy sun'iy yo'ldosh texnologiyalarining paydo bo'lishi kam mablag' sarflab katta maydonlarning RRMini yaratishga imkon berdi. Aksariyat amaliy vazifalarni yechishda barcha foydalanuvchilar ochiq RRMLardan (masalan, SRTM, ASTER GDEM, ALOS) foydalanadilar. Biroq, ular qo'pol fazoviy ruxsat etish qobiliyatiga ega va ularning aniqligiga olingan ma'lumotlarning (uzunligi va yo'nalishi, faza, egilish diapazoni va antenna holati) o'zi, o'lchovlarni qayta ishlash, shuningdek, relyef, o'simlik va grunt qoplaminin ta'siri bilan bog'liq bo'lgan turli xil xatolar ta'sir qiladi. Shuning uchun RRM ning vertikal aniqligi har bir hudud uchun tekshirilishi kerak. GGM va RRM modellarining aniqligini oshirish usullaridan biri GNSS kabi yer usti o'lchovlari hisoblanadi.

Dissertatsiyaning ikkinchi bobi **“Yerning zamonaviy global gravitatsion modellari va geoaxborot dasturlari yordamida balandlikni aniqlash”** bo'lib, Yerning zamonaviy GGMLarining balandlik anomaliyalari ma'lumotlaridan foydalanish masalalari ko'rib chiqiladi, bu holda balandlikni o'zgartirish uchun iqtisodiy jihatdan samarali muqobili hisoblanadi.

Hududiy xarakterga ega amaliy vazifalarni (yer maydonlarini hisoblash, chiziq uzunligini aniqlash va boshqalar) hal qilish uchun mahalliy va xalqaro geotsentrik ellipsoidga maksimal darajada yaqinlashishni ta'minlash kerak. Tadqiqotning boshlang'ich bosqichida nuqtalarning an'anaviy geometrik nivelirlash orqali olingan normal balandlik qiymatlari va GNSS orqali o'lchangan geodezik balandlik qiymatlari bilan taqqoslanadi. Aniqlanishicha, vodiynin tog'li va yer yoriqlari mavjud hududlarida -49 m dan -44 m gacha bo'lgan tafovutlarning muhim qiymatlari olinadi. Bu nafaqat havzaning o'zida, balki butun hududda kuchli

gravitatsion anomaliyaning mavjudligi bilan izohlanadi va GNSS-nivelirlashni amalga oshirish uchun mos geoid modelini tanlash zarurligini isbotlaydi (2-rasm).



2-rasm. Nuqtalar bo'yicha aniqlangan balandlik anomaliya qiymatlari

Tahlil qilish uchun quyidagi ma'lumotlar tanlandi:

1) 1911-1936 yillarda turli olimlar tomonidan hududda bajarilgan va Tuluzaning xalqaro gravimetrik bazasida mavjud 1-sinf an'anaviy geometrik nivelirlash natijalari;

2) O'zbekiston Respublikasi Geodeziya va kartografiya milliy markazi tomonidan Farg'ona vodiysida GNSS o'lchovlaridan foydalanib 2010-2015 yillarda aniqlangan 27 ta DSYGT nuqtalarining balandlik qiymatlari (1-rasm);

3) GFZ Calculation Service of the International Center of Global Terrestrial Models (ICGEM) Germaniya Yer tadqiqotlari markazining onlayn hisoblash xizmati orqali aniqlangan turli zamonaviy GGMLari uchun balandlik anomaliya qiymatlari.

Xalqaro nemis Yer tadqiqot markazi GFZ Calculation Service of the International Center of Global Terrestrial Models onlayn hisoblash xizmati ma'lumotlar bazasi tomonidan taqdim etilgan turli GGMLar tahlil qilindi. Mazkur bobdagi manbalarni tahlil qilish asosida aniqlikni o'rganish uchun ikkita GGM guruhi tanlangan. Ulardan birinchisi, eng ko'p ishlatiladigan, sun'iy yo'ldosh va yer usti o'lchovlarini birgalikda qayta ishlash asosida yaratilgan birlashtirilgan yuqori aniqlikdagi GGMLar, ya'ni, EGM96, EGM2008, EIGEN-6C2 va boshqalardir. Masalan, respublikada ko'plab amaliy dasturlar uchun EGM2008 modeli qo'llaniladi, ammo uning aniqligini baholash, ayniqsa tog'li hududlar uchun ilgari o'tkazilmagan. Ikkinchi guruh-Yevropa kosmik agentligining (ESA) GOCE loyihasi asosida yaratilgan modellar, ular so'nggi yillarda boshqa modellarga nisbatan eng aniq deb tasniflanadi (balandlik anomaliyalarini aniqlash 1-2 sm) (1-jadval).

Yuqori tartibli global gravitatsion modellarning xususiyatlari

Model tartib raqami	Model	Yil	Darajasi	Ma'lumotlarning tavsifi	Mualliflar
104	EGM2008	2008	2190	A, G, S(GRACE),	Pavlis N.K. va b.
114	EIGEN-51C	2010	359	A, G, S (CHAMP), S (GRACE)	Bruinsma S.L. va b.
131	EIGEN-6C2	2012	1949	A, G, S(GOCE), S(GRACE), S(Lageos)	Förste Christoph va b.
139	EIGEN-6C3stat	2014	1949	A, G, S(GOCE), S(Grace), S(Lageos)	Förste Christoph va b.
148	EIGEN-6C4	2014	2190	A, G, S(GOCE), S(GRACE), S(Lageos)	Förste Christoph va b.
152	GECO	2015	2190	EGM2008, S(GOCE)	Gilardoni M. va b.
155	EIGEN-6S4 (v2)	2016	300	S(GOCE), S(GRACE), S(Lageos)	Förste C. va Bruinsma S.L.
166	GOSG01S	2018	220	S(GOCE)	Xu X. va b.
167	SGG-UGM-1	2018	2159	EGM2008, S(GOCE)	Liang W. va b., Xu X. va b.

Izoh: C-sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari, G-gravimetrik ma'lumotlar, A-altimetriya ma'lumotlari.

Shu maqsadda ishda ICGEM xalqaro onlayn xizmatining ma'lumotlar bazasi batafsil tahlil qilingan. Ushbu xizmat quyidagi formula yordamida $1^\circ \times 1^\circ$ global to'rtli GGMLar uchun WGS84 ellipsoidiga nisbatan foydalanuvchi tomonidan kiritilgan tayanch nuqtalarining balandlik anomalialarini hisoblash imkonini beradi:

$$N_{GGM} = \frac{fM}{\gamma(B, L, h)r} \sum_{n=2}^N \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n \bar{P}_{nm}(\sin \varphi) (\bar{C}_{nm} \cos \lambda + \bar{S}_{nm} \sin \lambda) \quad (2)$$

bu yerda B, L - WGS84 tizimida aniqlangan nuqtaning geodezik koordinatalari, h - nuqtaning normal balandligi, fM - Yer massasi gravitatsion doimiysining hosilasi, a - ellipsoid katta yarim o'qi, γ - tortishish kuchining normal tezligi, φ, λ, r - nuqtaning sferik geotsentrik koordinatalari (kenglik, uzoqlik, radius-vektor), $\bar{P}_{nm}(\sin \varphi)$ - to'liq normallashtirilgan Lejandr funksiyasi, $\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$ - anomal geopotensial normallashtirilgan garmonik koeffitsientlar, N - sferik garmoniklarning yig'indi chegarasi (n, m - mos ravishda garmoniklarning darajasi va tartibi).

GGMning aniqligini baholash uchun (1) formula bo'yicha modellar va GNSS o'lchovlari bo'yicha hisoblangan nuqtalarning normal balandliklari $H_{GGM}(P)$ va

bevosita an'anaviy nivelirlash natijasida olingan normal balandliklar $H_{an'anaviy}(P)$ o'rtasidagi farq $\Delta H(P)$ hisoblab chiqilgan:

$$\Delta H(P) = H_{GGM}(P) - H_{an'anaviy}(P) \quad (3)$$

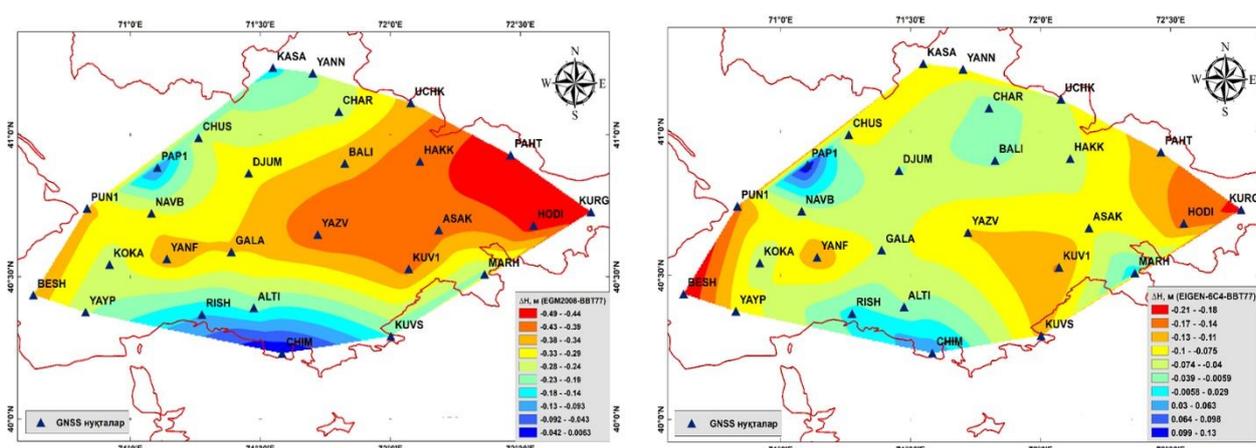
Hisoblangan farqlarning statistik ma'lumotlarini (2-jadval) tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, amaliyotda eng ko'p qo'llaniladigan EGM2008 modelidan farqli o'laroq, eng yaxshi natijalarni Yevropa kombinatsiyalangan EIGEN-6C4 va GOCE sun'iy yo'ldosh missiyasi gradiometrik o'lchovlar asosida olingan EIGEN-6C3stat, SGG-UGM-1 va EIGEN-6C2lar ko'rsatdi.

2-jadval.

Global gravitatsion modellari va an'anaviy ma'lumotlar bo'yicha aniqlangan normal balandliklar farqi

No	Model	Minimum, m	Maksimum, m	O'rtacha, m	O'KX, m
1.	EGM2008	-0,01	0,49	0,31	0,12
2.	EIGEN-51C	-0,58	1,59	0,39	0,59
3.	EIGEN-6C2	-0,06	0,20	0,11	0,07
4.	EIGEN-6C3stat	-0,11	0,20	0,09	0,07
5.	EIGEN-6C4	-0,14	0,21	0,07	0,07
6.	GECO	-0,27	0,46	0,03	0,18
7.	EIGEN-6S4	-0,62	1,16	0,20	0,42
8.	GOSG01S	-0,34	1,60	0,53	0,47
9.	SGG-UGM-1	-0,08	0,24	0,12	0,07

Model va o'lchangan balandliklar o'rtasidagi sezilarli tafovutlar (3-rasm) vodiyning tog'li hududlarida saqlanib qolmoqda.



3-rasm. EGM2008 (chapda) va EIGEN-6C4 (o'ngda) GGM orqali hisoblangan va an'anaviy ma'lumotlar bo'yicha aniqlangan normal balandliklar farqi

Bundan tashqari ko'pgina GGMLar aniqligiga geologik jihatdan tektonik yoriq zonalari ham ta'sir qiladi. An'anaviy o'lchovlar bo'yicha barpo etilgan sirtga eng

yaqin sirt bu EIGEN-6C4 GGM bo'yicha qurilgan sirtidir. Bunda tayanch nuqtalarining muvofiq emasligi -0,14 m dan 0,21 m gacha, o'rtacha qiymati 0,07 m. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, Farg'ona vodiysi uchun eng aniq GGM EIGEN-6C4 bo'lib, O'KX $\pm 0,07$ m ni tashkil etadi. O'zbekiston Respublikasining Milliy geoid modeli to'liq amalga oshirilgunga qadar mazkur GGMni GNSS, GAT, geodeziya va geoinformatika loyihalarida qo'llash uchun tavsiya etish mumkin.

Dissertatsiyaning uchinchi bobi "**GNSS o'lchovlari asosida relyefning raqamli modellarining aniqligini oshirish**" deb nomlanib, yuqori aniqlikdagi (1 arc-second) Yerni masofadan zondlash texnologiyasidan foydalangan holda yaratilgan uchta global relyefning raqamli modellari (RRM) ko'rib chiqildi. Tanlangan modellarning asosiy afzalligi ularning aniqligi emas, balki mavjudligidir. Ulardan birinchisi Milliy Aeronavtika va Koinot boshqarmasi (NASA) va Germaniya hamda Italiya kosmik agentliklari ishtirokida Milliy Geofazoviy Agentlik (NGA) tomonidan yaratilgan SRTM RRM. SRTM InSAR deb nomlangan interferometrik radiolokatsion usuli yordamida olingan. Ikkinchi model ASTER GDEM v2 bo'lib, eng ko'p ishlatiladigan modellardan hisoblanib, optik stereoskopiya yordamida yaratilgan. ASTER GDEM v2 ga muqobil sifatida ko'rib chiqilishi mumkin bo'lgan uchinchi RRM ALOS modeli bo'lib, u ham optik stereoskopiya yordamida foydalanadi. RRMLarning versiyalari, manbalari va batafsil tavsiflari 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval.

Relyefning raqamli modellarining tavsifi

Ma'lumotlar	SRTM30 v. 2.0	ASTER GDEM v.2	ALOS World 3D
Manba	Space Shuttle Radar	ASTER	DAICHI/ALOS
Kuzatuv davri	11 fevral 2000 yildan - 22 fevral 2000 yilgacha	1 mart 2000 yildan - 30 noyabr 2013 yilgacha	2006 yildan - 2011 gacha
Piksel o'lchami (m)	30	30	30
Geoid modeli	EGM96	EGM96	EGM96
Ellipsoid	WGS84	WGS84	WGS84
Syomka turi	radiolokatsion	optik stereoskopiya	optik stereoskopiya
Vertikal aniqlik (LE90), m	< 10	<15-20	<7

Ushbu tadqiqotda (1) tenglama bo'yicha normal balandliklarni hisoblashda yuzaga keladigan xatoliklarni kamaytirish geometrik usul – parametrik model (yoki tuzatuvchi sirt)ni kiritish orqali amalga oshiriladi. EGM96 GGMdan foydalangan holda (1) tenglama uchun geoid balandligi anomalialari *N* Global Yer Modellarini Xalqaro Markazi xizmati (ICGEM) yordamida aniqlandi.

Tadqiqot ishida "umumiy" nuqtalarda GNSS-nivelirlash va EGM96 GGM orqali hisoblangan geoid balandliklari orasidagi farqning ma'lum bir qiymatlarini modellashtirish va interpolyatsiyaga asoslangan geometrik usuldan foydalanildi:

$$\Delta N_i = N_i^{GNSS/nivelirlash} - N_i^{EGM96} \quad (4)$$

Har bir nuqta uchun polinom tendensiyasi aniqlanadi. Ushbu tadqiqotda birinchi darajali polinom tanlandi:

$$T_i = a_0 + a_1 B_i + a_2 L_i \quad (5)$$

bu yerda a_0 koeffitsient qiyalik, a_1 , a_2 WGS84 ellipsoidiga nisbatan geoid tekisligining qiyaligi, φ_i va λ_i esa geografik koordinatalarni ifodalaydi.

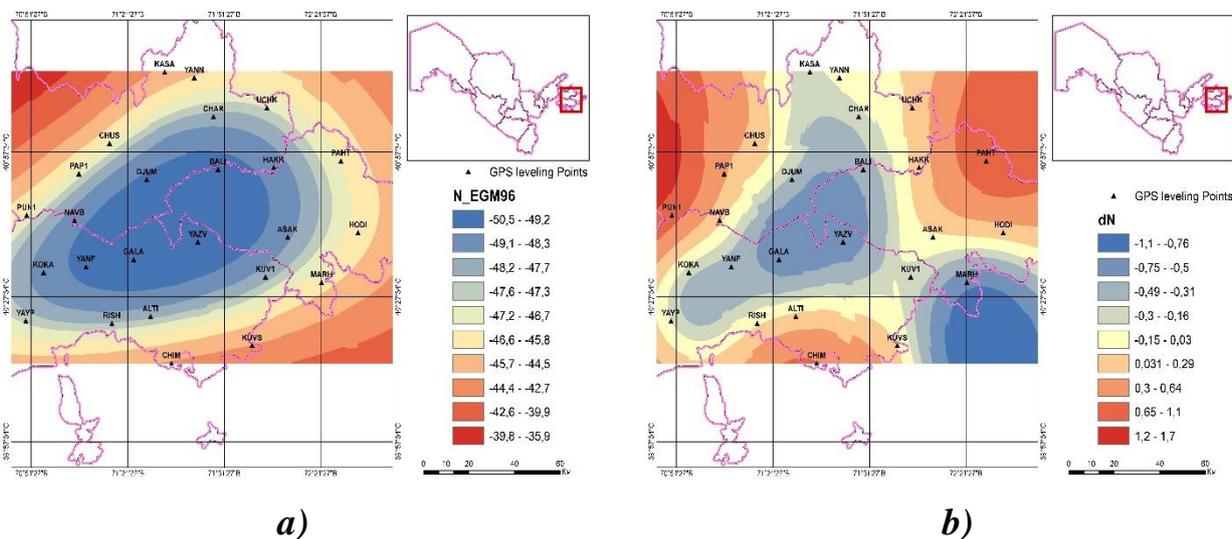
Shunga ko'ra, korreksiya yuzasining (corrector surface fitting) tenglamasi sifatida quyidagicha aniqlanadi:

$$f(B_i, L_i) = dN_i = \Delta N_i - T_i \quad (6)$$

Geoid balandligi anomaliyalari quyidagi ifoda bilan aniqlanadi

$$N_i^{yaxshilangan} = N_i^{EGM96} + T_i + dN_i \quad (7)$$

EGM96 geoid balandligining $1^\circ \times 1^\circ$ global to'ridan (4a-rasm) foydalanib, tadqiqot hududi uchun $1^\circ \times 1^\circ$ korreksiya yuzasi (4b-rasm) ma'lumotlar to'plami yaratilgan. Mazkur yuz *Kriging* interpolyatsiya usuli yordamida yaratilgan bo'lib, bu tog'li hududlarda geoid balandliklarining aniq yaqinlashuvini ta'minlash uchun eng mos usullardan biri hisoblanadi. Geoid balandligiga tuzatma qiymatlari oralig'i -1.1 m dan 1.7 m gacha.



4-rasm. EGM96 balandlik anomaliyasi (a) va korreksiya yuzasi (correction surface) (b)

Dastlabki qayta ishlash bosqichi (mahalliy geoidni modellashtirish) tugagandan so'ng, har bir RRM uchun ellipsoid balandliklari olindi. Barcha RRM uchun o'rtacha balandlik qiymatlari 471 m dan 480 m gacha o'zgardi va GNSS o'lchovlari qiymatlariga mos. SRTM30, ASTER GDEM2, ALOS AW3D30 va

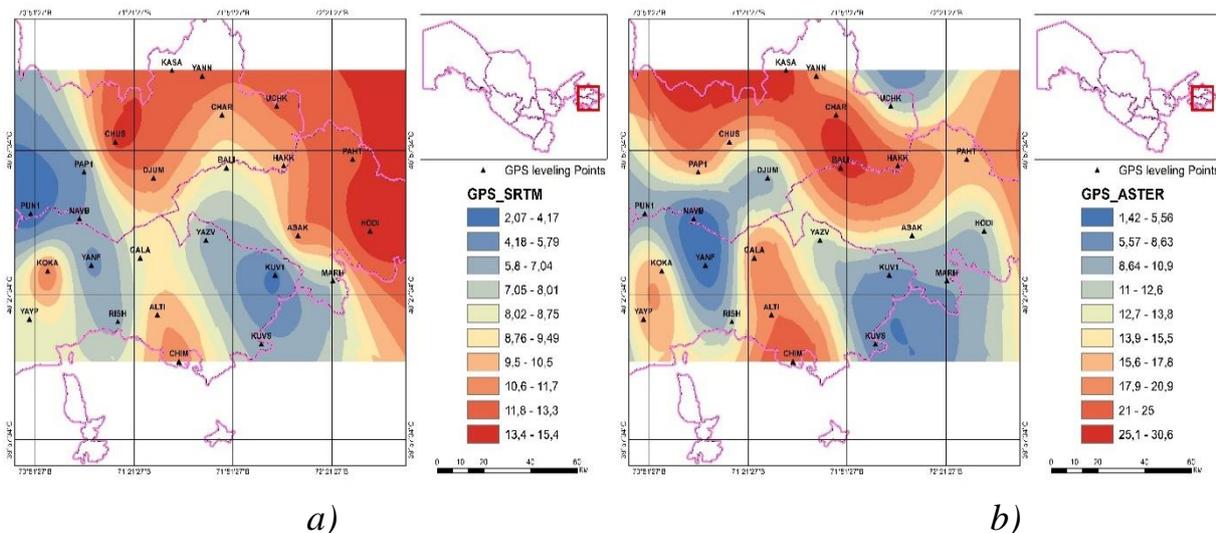
GNSS referens ellipsoidal balandliklari uchun balandliklar oralig‘i, o‘rtacha va standart og‘ish statistikasi 4-jadvalda keltirilgan.

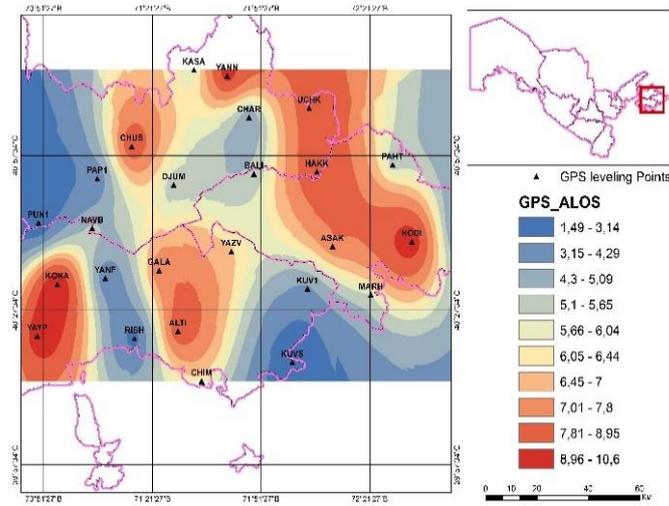
4-jadval.

Relyefning raqamli modellarining statistik ma’lumotlari

Model	Min, m	Maks, m	O‘rtacha, m	O‘KX, m	GNSS va RRM korrelyatsiya tenglamasi	Korrelyatsiya koeffitsienti R
GNSS	330,080	836,060	485,922	11,02		
SRTM30	324,284	823,250	476,552	10,95	$y = 0,989x - 4,182$	0,9996
ASTER	326,362	808,831	470,957	10,93	$y = 0,985x - 7,736$	0,9981
ALOS AW3D30	324,771	830,344	479,847	11,02	$y = 0,999x - 5,914$	0,9997

Shuningdek, biz GNSS orqali olingan ellipsoid balandliklar va har bir RRM uchun raqamli balandlik modellari o‘rtasidagi chiziqli korrelyatsiyani hisoblab chiqdik. Korrelyatsiya koeffitsienti R barcha holatlar uchun 0,99 ga teng topildi va uchta RRM va GNSS ma’lumotlari o‘rtasida sezilarli farq aniqlanmadi. RRM va GNSS balandliklar o‘rtasidagi farqlar (bog‘lanmaslik) har bir nuqta uchun xato qiymatini ifodalaydi va modellarning batafsilroq baholash uchun ishlatilishi mumkin. Ushbu bog‘lanmasliklar (GNSS-SRTM30), (GNSS-ASTER GDEM2) va (GNSS-ALOS AW3D30) uchun *Kriging* interpolatsiya usuli bilan hosil qilingan sirtlar 5 (a-c)-rasmida ko‘rsatilgan. Qiymatlardagi farq SRTM30, ASTER GDEM2 va ALOS AW3D30 uchun mos ravishda 2,07 m dan 15,4 m gacha, 1,42 m dan 30,6 m gacha, 1,49 m dan 10,6 m gacha tashkil etdi.





c)

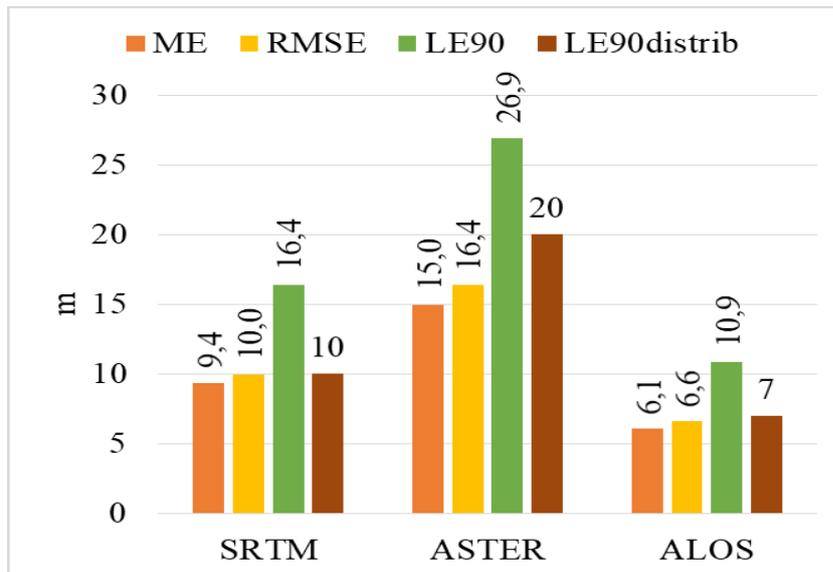
5-rasm. GNSS va RRM yordamida olingan balandlik o'rtasidagi farq: (a) SRTM30, (b) ASTER GDEM2, (c) ALOS AW3D30

Aniqlikni baholash uchun o'rta kvadratik xatolik (RMSE), o'rta arifmetik xatolik (ME) va 90% ishonchlilik darajasida mutlaq vertikal aniqlik (LE90) hisoblab chiqilgan. Ulardan birinchisi, RMSE, modellashtirilgan qiymatlar Z_{MODEL} va o'zgarmas qiymatlar (misolimizda Z_{GNSS}) orasidagi farqni ifodalaydi. Ikkinchisi, ME bu qabul qilingan tayanch modeldan og'ish qiymati. LE90 mutlaq vertikal aniqligi esa RMSE asosida baholanishi mumkin.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{GNSS} - Z_{MODEL})^2} \quad (8)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{GNSS} - Z_{MODEL}) \quad (9)$$

$$LE90 = RMSE \times 1.6449 \quad (10)$$



6-rasm. RRMLar qiyosiy statistikasi

Uchta RRM ham dengiz sathiga nisbatan mutloq balandliklarni aniqlashda kattaroq xato qilgan bo'lsa-da, balandlik farqlarining o'rtacha qiymatlari va standart og'ishlari ALOS AW3D30 da SRTM30 va ASTER GDEM2 bilan taqqoslaganda pastroq. Biz ALOS AW3D30 aniqligi SRTM30 va ASTER GDEM2 RRMLariga nisbatan yaxshiroq ekanligini aniqladik. U eng kichik RMSE 6,6 m, ME 6,1 m qiymatlarini berdi. Buning sababi shundaki, ALOS AW3D30 SRTM30 dan ma'lum afzalliklarga ega, chunki uning stereojuft sensorlari bizning tadqiqot hududimiz kabi juda tik va relyefi murakkab joylarda ma'lumotlarni yig'ishda yuqori aniqlikdagi tasvirga olishga ega.

XULOSA

1. Geografik axborot tizimlarning samaradorligini oshirish va tabiiy hodisalarni geofazoviy modellashtirishni ta'minlash maqsadida, GNSS-nivelirlash ma'lumotlari va GGMLardan birgalikda foydalangan holda normal balandliklar qiymatlarini hisoblash uslubi takomillashtirilgan.

2. An'anaviy o'lchashlar, GNSS ma'lumotlari, GOCE, CHAMP va GRACE sun'iy yo'ldosh missiyalarining global gravitatsion modellari ma'lumotlari asosida balandlik anomaliya qiymatlarining aniqligi baholandi. Natijada, aniqlanishicha, tog'li hududlar va yer yoriqlari bo'yida -49 m dan -44 m gacha bo'lgan balandlik anomaliyalari aniqlandi. Kuchli gravitatsion anomaliyaning mavjudligi GNSS-nivelirlashni amalga oshirish uchun mos geoid modelini tanlash zaruratini taqozo etadi.

3. Farg'ona vodiysi hududi uchun topografiya ishlarida qo'llashda EIGEN-6C4 global gravitatsion modeli yaxshiroq ekanligi aniqlandi. Balandlik anomaliyalarini hisoblashda o'rta kvadratik xatolik $\pm 0,07$ m bo'lib, modelning yuqori aniqligi va ishonchligiga ega ekanligini ko'rsatdi. Olingan natija geodezik o'lchovlar sifatini oshirish va geofazoviy ma'lumotlarni tasvirlashda muhim bosqichdir.

4. Global gravitatsion model yordamida hisoblangan balandlik anomaliyalari qiymatlari ham hududning tektonik, ham relyef xususiyatlariga bog'liqligi aniqlangan. Ushbu omillarning hisobga olish geodezik o'lchovlar natijalarining aniqligi va ishonchliligini oshiradi, keyinchalik relyefning raqamli modellari va geofazoviy xaritalarni yaratishda foydalanilishi mumkin.

5. Shaharsozlik, tabiiy xavflarni baholash va geologik xaritalarni tuzish kabi muammolarni hal qilish uchun muhim ahamiyatga ega bo'lgan relyefning raqamli modelining vertikal aniqligiga geografik joylashuv, tasvirga olish usuli, stereojuft surat yo'nalishi, interpolyatsiya usuliga bog'liqdir.

6. EGM96 global gravitatsion modeli yordamida Farg'ona vodiysi uchun balandlik anomaliyalarining korreksiya yuzasi yaratilgan. Shuni ta'kidlash kerakki, balandlik anomaliyalari uchun tuzatmalar -1,1 m dan 1,7 m gachani tashkil etdi. Bu qiymatlar Farg'ona vodiysidagi balandlik anomaliyalarining sezilarli o'zgaruvchanligini ko'rsatadi. Bu esa uning geologik xususiyatlariga bog'liq bo'lishi mumkin.

7. GNSS ma'lumotlari va SRTM, ASTER GDEM, ALOS AW3D30 relyefning raqamli modellari ma'lumotlari asosida takomillashtirilgan relyefning raqamli modeli hosil qilindi. Vertikal aniqlik (LE90) SRTM, ASTER GDEM, ALOS relyefning raqamli modellari uchun mos ravishda 16.4, 26.9, 10.9 metrni tashkil etdi. Bu relyefning raqamli modeli aniqligining joriy ko'rsatkichlarga nisbatan sezilarli darajada yaxshilanganligi ko'rsatadi va o'z navbatida ushbu RRM asosida geofazoviy ma'lumotlarning sifati va ishonchliligini oshiradi.

8. Relyefning raqamli modellari vertikal aniqligini baholash shuni ko'rsatdiki, o'rganilayotgan tadqiqot hududi uchun amaliy vazifalarni yechishda ALOS AW3D30 relyefning raqamli modellaridan foydalanish maqsadga muvofiq.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПРИ НАУЧНОМ СОВЕТЕ
DSc.03/30.12.2019.Gr.01.06 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ
ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА

АРАБОВ ОБИДЖОН ЗАРИП УГЛИ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ВЫСОТ
ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ
СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

11.00.07 – Геоинформатика

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО
ГЕОГРАФИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2023

Тема диссертации доктора философии (PhD) по географическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2022.1.PhD/Gr191.

Диссертация выполнена в Национальном университете Узбекистана.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу (www.nuu.uz) и на Информационно-образовательном портале «Ziynet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:

Фазилова Дилбархон Шамурадовна
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Официальные оппоненты:

Рафиков Вахоб Асомович
доктор географических наук, профессор

Сабитов Тимур Юрьевич
доктор философии по географии (PhD)

Ведущая организация:

Каракалпакский государственный университет

Защита диссертации состоится 6 октября 2023 года в 14:00 часов на заседании разового Научного совета при Научном совете DSc.03/30.12.2019.Gr.01.06 по присуждению ученых степеней при Национальном университете Узбекистана (Адрес: 100174, г. Ташкент, ул. Университетская, 4. Тел.: (+99871) 227-12-24, факс: (+99871) 246-53-21; 246-02-24. e-mail: ik-geografiya.nuuz@mail.ru. Факультет Географии и геоинформационных систем, Национального университета Узбекистана).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национального университета Узбекистана (зарегистрирован за №___), Адрес: 100174, г.Ташкент, ул.Университетская, 4. тел. (+99871) 246-67-71.

Автореферат диссертации разослан 25 сентября 2023 года.
(Протокол реестра №53 от 25 сентября 2023 года.).

Н.И.Сабитова,
Председатель Разового Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.г.н., профессор

Ш.М.Шарипов,
Ученый секретарь Разового Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.г.н., доцент

З.Н.Тожиева,
Председатель научного семинара при разовом
Научном совете по присуждению ученых
степеней, д.г.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (Аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время широкое внедрение технологии глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS) и инструментов анализа геоинформационных систем (ГИС) поставили проблему согласования информации о местоположении, полученной из различных источников данных и привязанной к национальной и глобальной системам координат. Международной геодезической ассоциацией (IAG) для этого поставлена задача «...обеспечения высокоточного определения координат для корректной, поэтапной и точной реализации Международной системы опорных высот (IHRV) в соответствии с международными геодезическими стандартами системы Земля»³. Для решения этих задач актуальное значение имеет преобразование геодезических высот, определяемых GNSS, в нормальные (ортометрические) для корректного отражения состояния и анализа динамики различных географических объектов.

В мире приоритет отдается исследованиям в этом направлении, в том числе повышению точности опорной системы высот отдельных регионов и стран на основе спутниковых измерений. Также важным является изучение эффективности применения глобальных гравитационных моделей (ГГМ) Земли для вычисления нормальных высот, уточнение значений аномалий высот и улучшение вертикальной точности цифровых моделей рельефа SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model), ALOS (Advanced Land Observing Satellite) с использованием GNSS измерений.

В нашей республике реализуется ряд мероприятий по созданию многоцелевой Национальной инфраструктуры пространственных данных (НИПД) и достигнуты значительные положительные результаты. В стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы определены важные задачи по «...введению данных электронной базы государственного мониторинга природной среды в Единую геоинформационную базу данных»⁴. В связи с этим большое значение приобретают исследования, направленные на совершенствование системы расчета высот на основе современных инновационных спутниковых технологий и повышение эффективности геоинформационного обеспечения, в том числе, в густонаселенных промышленных районах нашей страны, таких как Ферганская долина.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит реализации задач, определенных в Постановлении Президента Республики Узбекистан от 23.11.2022 года № ПП-429 «О дополнительных мерах по дальнейшему развитию космической отрасли», Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан от 26.12.2017 года № 1022 «О применении

³ IAG Reports 2011-2015. Vol.39. <https://office.iag-aig.org/doc/5d849797745f6.pdf>

⁴ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы» от 28 января 2022 г.

и открытом использовании на территории Республики Узбекистан международных геодезических систем координат» и других нормативно-правовых документов, связанных с данной деятельностью.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики VIII. «Науки о Земле», IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Совершенствование системы вычисления высот на основе современных спутниковых технологий, включая теоретические, методические и технологические вопросы использования методов спутникового нивелирования частично отражены в научных работах зарубежных А.Barthelmes, U.Falchi, Z.Altamimi, W.Köhler, M.Soycan, S.Doganalp, M.El-Ashquer, стран СНГ И.И.Померанцев, П.К.Залесский, Ф.А.Слудский, И.М.Кравчук, В.Б.Непоклонов, В.И.Обиденко, О.А.Опритова, А.П.Решетов, Д.А.Шоганбекова ученых.

Для территорий, для которых отсутствует модель геоида, определяемая гравиметрическими методами, в большинстве работ использовались значения аномалий высот по данным ГГМ. Для преобразования геодезических (эллипсоидальных) высот в нормальные используются две высокоточные комбинированные модели ГГМ: EGM2008 (Earth Gravitational Model, 2008) и EIGEN-6C4 (European Improved Gravity model of the Earth by New techniques). Однако, в последние годы были созданы новые ГГМ на основе данных градиентометрической миссии GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) для улучшения этих общепринятых моделей, оценка точности которых для большинства регионов, в том числе и для территории Узбекистана не выполнена.

Для решения практических задач в области наук о Земле (тектоника, изучение оползней, разведка полезных ископаемых, управление водными и земельными ресурсами, предотвращение стихийных бедствий и др.) использованы цифровые модели рельефа (ЦМР) (С.С.Саййидкосимов, Н.И.Сабитова, А.Г.Стельмах, Н.Р. Таджибаева, Ш.М.Шарипов), созданные с помощью различных методов, таких как аэрофотосъемка (Х. Мубораков, А.Рузиев, О.Г.Щукина, М.Эргашев, Г.З.Якубов), лазерное сканирование (И.Арипов, Д.Матрасулов, Ш. Тахиров), интерполяция контурных карт (М.Жулиев, Э.Р.Мирмахмудов) и другие. Однако, несмотря на точность, эти методы не используются для построения ЦМР на больших площадях из-за сложного процесса организации производства и стоимости работ. Современные спутниковые технологии дистанционного зондирования позволили с минимальными затратами выполнить картографирование больших территорий, примером которых стали ЦМР, находящиеся в открытом доступе, такие как SRTM, ASTER GDEM, ALOS. Но они имеют более грубое разрешение и на их точность оказывают влияние различные ошибки. Оценка вертикальной точности этих ЦМР для построения геоида и определения

объема водохранилищ выполнена такими учеными как I.Elkhachy, R.N.Abdel-Maguid, T.Tadono, Z.Hu, X.Huang, В.В.Хромых, А.Чымиров, Д.Ш.Фазилова, М.Бакиев, Х.Хасанов. Однако, для практических вычислений в республике используется модель SRTM, а оценка вертикальной точности других открытых цифровых моделей рельефа и влияние физико-географических факторов до сих пор не выполнена.

Опорной поверхностью ЦМР является эллипсоид WGS84, а вертикальный датум относится к среднему уровню моря и нормальные высоты вычисляются с помощью модели геоида и аномалий высот по глобальной модели EGM96 (Earth Gravity Model). Но, для практической реализации данного преобразования, устранения ошибок и повышения точности высот, необходимо использовать параметрические модели (или корректирующие поверхности): полиномы высокого порядка с различными базисными функциями, метод конечных элементов, ряды Фурье, метод коллокации. Для этого используются различные наземные измерения, такие как GNSS, аэрофотосъемка. Однако, для территории Узбекистана, в том числе Ферганской долины, уточнение существующих ЦМР открытого доступа до настоящего времени не выполнены.

Связь диссертационного исследования с планами научноисследовательских работ высшего образовательного и научно исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ прикладных проектов Национального университета Узбекистана Uzb-Ind-2021-89 - «Оценка влияния плотин и изменения климата на дефицит воды и засуху в засушливых и полузасушливых речных бассейнах Индии и Узбекистана» (2021-2023) и Астрономического института ФА-Атаб-2018-57 “Разработка метода повышения точности современной геодезической сети на основе анализа и обработки данных геодинамических процессов на территории Республики Узбекистан” (2018-2020).

Целью исследования является совершенствование вычисления системы нормальных высот территории Ферганской долины на основе спутниковых методов и технологии геоинформационных систем.

Задачи исследования:

исследование спутниковых методов вычисления нормальных высот как альтернативы традиционному нивелированию;

улучшение метода вычисления нормальных высот с помощью высокостепенных глобальных гравитационных моделей базы данных ICGEM (International Centre for Global Earth Models);

разработка метода улучшения точности локальных цифровых моделей рельефа на основе измерений глобальной навигационной спутниковой системы и глобальных гравитационных моделей Земли;

исследование влияния физико-географических факторов и оценка вертикальной точности цифровых моделей рельефа.

Объектом исследования являются системы нормальных высот Ферганской долины.

Предметом исследования являются повышение точности высокостепенных глобальных гравитационных моделей Земли международной базы данных (ICGEM) и цифровых моделей рельефа открытого доступа.

Методы исследования. В диссертационном исследовании использовались такие методы, как аэрокосмические, математическое моделирование, экспериментальные исследования, анализ с помощью геоинформационных систем, работа с литературными и фондовыми материалами, статистические, сравнительная география.

Научная новизна исследования:

выявлена зависимость аномалий высот, полученных по глобальным гравитационным моделям, от сложности рельефа местности;

усовершенствован метод вычисления нормальных высот на основе совместного использования спутникового нивелирования и глобальных гравитационных моделей;

создана корректирующая поверхность (correction surface) аномалий высот глобальной гравитационной модели EGM96 для улучшения точности цифровых моделей рельефа;

выявлена зависимость вертикальной точности цифровых моделей рельефа от географического положения, систематических ошибок измерения, ориентации стереопар снимков и методов съемки.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

создана методика вычисления высот по данным глобальной навигационной спутниковой системы и глобальной гравитационной модели EIGEN-6C4;

создана цифровая модель нормальных высот опорных пунктов с использованием измерений глобальной навигационной спутниковой системы и глобальной гравитационной модели EIGEN-6C4;

создана улучшенная цифровая модель высот по данным глобальной навигационной спутниковой системы и цифровым моделям рельефа SRTM, ASTER GDEM, ALOS.

Достоверность результатов исследования обосновывается использованием материалов Агентства по Кадастра при государственном налоговом комитете Республики Узбекистан, а также применением современных методов математического моделирования, сравнением значений аномалий высот, полученным по GNSS и традиционным измерениям. Кроме этого, внедрением полученных в результате исследования цифровых моделей рельефа, выводов, предложений и рекомендаций компетентными структурами.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований заключается в совершенствовании методических подходов вычисления нормальных высот

для территорий с отсутствием гравиметрических измерений, уточнении цифровых моделей рельефа с использованием ГИС и наземных GNSS измерений.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что улучшенная цифровая модель рельефа служат важным ресурсом для гидрологических, тектонических исследований региона, определения объема работ на строительных и горнодобывающих объектах, создания топографических карт в программе ArcGIS для новой национальной системы координат республики.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов по повышению точности системы нормальных высот на территории Ферганской долины на основе спутниковых методов и технологии геоинформационных систем:

метод вычисления высот на основе данных GNSS-нивелирования и моделей ГГМ использован при проведении полевых геодезических работ в Ферганской долине в деятельности Агентства по кадастру при государственном налоговом комитете Республики Узбекистан при проведении полевых геодезических работ в Ферганской долине (Справка Агентства по кадастру при государственном налоговом комитете Республики Узбекистан № 08-11028 от 7.12.2022 г.). В результате, вычислены значения нормальных высот исходных пунктов для районов, для которых нет определенной модели геоида;

улучшенная модель геоида EGM96 в районе Ферганской долины была использована в деятельности Агентства по кадастру при государственном налоговом комитете Республики Узбекистан для вычисления начальных координат новых пунктов GNSS сети (Справка Агентства по кадастру при государственном налоговом комитете Республики Узбекистан № 08-11028 от 7.12.2022 г.). В результате, применение данной методики позволило выполнить оценку нормальных высот GNSS станций с минимальными техническими затратами;

улучшенная цифровая модель высот по данным глобальной навигационной спутниковой системы и цифровым моделям рельефа SRTM, ASTER GDEM, ALOS использована в деятельности Агентства по кадастру при государственном налоговом комитете Республики Узбекистан при создании карт водоразделов (Справка Агентства по кадастру при государственном налоговом комитете Республики Узбекистан № 08-11028 от 7.12.2022 г.). В результате содержание раздела «Аридные зоны» Национального атласа Узбекистана было расширено, что повысило его научную и практическую значимость;

улучшенная цифровая модель высот по данным глобальной навигационной спутниковой системы и цифровым моделям рельефа SRTM, ASTER GDEM, ALOS использована в Агентстве по кадастру при государственном налоговом комитете Республики Узбекистан при планировании распределения земельных ресурсов (Справка Агентства по

кадастру при государственном налоговом комитете Республики Узбекистан № 08-11028 от 7.12.2022 г.). В результате, это позволило усовершенствовать работы по рациональному использованию земельных ресурсов, регламентации и их кадастровому учету.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 2 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 15 научных работ, 7 научных статей, из них 3 в зарубежных и 4 в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикаций основных научных результатов докторских диссертаций.

Структура и объем диссертации. Содержание диссертации состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 103 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект, предмет и методы исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в республике, изложена научная новизна исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, приведены краткие сведения о внедрении результатов и апробации работы, а также о структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Вопросы использования спутниковых технологий в совершенствовании вычисления системы высот Ферганской долины»** проанализированы литературные данные экспериментальных и теоретических исследований, касающихся практического использования измерений спутниковой технологии глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS) для широкого спектра приложений геоинформатики, технологии географических информационных систем (ГИС), дистанционного зондирования (ДЗ), геодезических и картографических приложений. В настоящее время нет локальной модели геоида территории Республики Узбекистан. Ферганская долина является единственной областью на сегодняшний день, геоид которой изучен классическими методами. С другой стороны, для геоинформационного обеспечения пространственными данными для устойчивого развития данного региона, необходимыми для решения задач горнодобывающей промышленности, прогнозирования землетрясений и обеспечения безопасности населения, поддержки строительных работ, развития транспортной инфраструктуры территории, данная область выбрана для проведения исследования в работе.

На территории республики создана спутниковая геодезическая сеть (СГС), базированная на измерениях GNSS. СГС Ферганской долины приведена на рис.1.

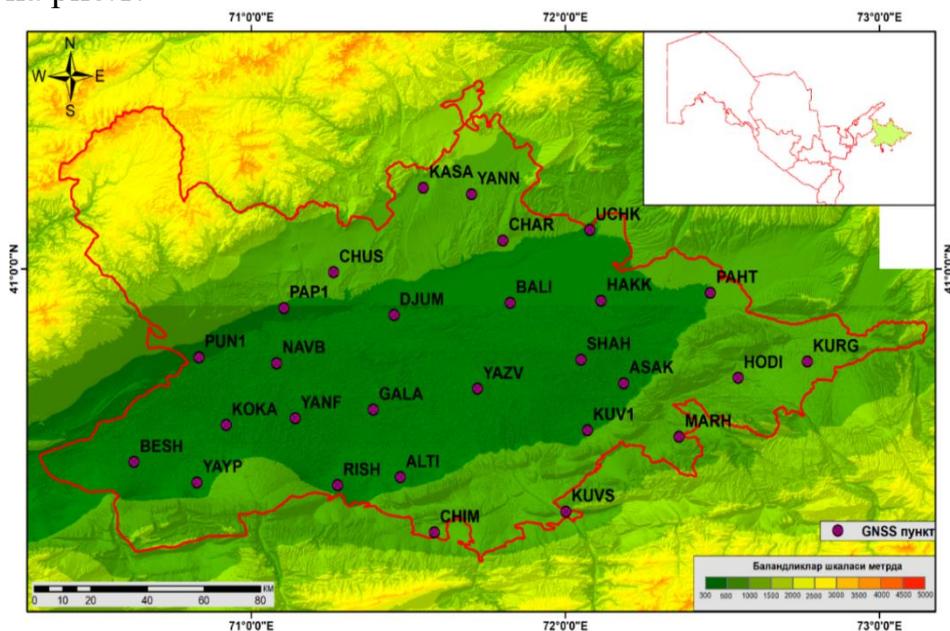


Рис.1. СГС Ферганской долины (на территории Узбекистана)

Одной из главных проблем, связанных с геодезическими высотами, определяемыми на основе GNSS $h(P)$, является их преобразование в нормальные высоты относительно среднего уровня моря (MSL) $H(P)$, которые обычно используются при съемке и картографировании, с помощью аномалий высот геоида $N(P)$:

$$H(P) = h(P) - N(P) \quad (1)$$

Применение на практике уравнения (1) для определения нормальных высот осложняется рядом факторов, среди которых случайные ошибки (шум), различие опорных поверхностей для разных типов высот, геодинамические явления (т.к. оседание почвы, деформация тектонических плит вблизи зон субдукций и др.).

Для геодезического информационного обеспечения на основе ГИС можно выделить два альтернативных направления вычисления системы высот: использование ГГМ и ЦМР. Среди наиболее часто используемых в практических геодезических работах в республике для вычисления нормальных высот в Балтийской системе является модель ГГМ EGM2008. Во-первых, поверхность относимости этой модели референц-эллипсоид WGS84. Во-вторых, не выполнена оценка не только точности аномалий высот по EGM2008, но и другим, более новым версиям высокостепенных моделей ГГМ, таким как EIGEN-6C4. В последние годы появились модели ГГМ, созданные с помощью новой технологии спутниковой градиентометрии такие как, например, GOCE, которые не используются у нас в стране.

Современные спутниковые технологии предоставили возможность создания ЦМР больших территорий с минимальными затратами. Для

большинства практических задач пользователи применяют ЦМР (такие как SRTM, ASTER GDEM, ALOS) находящиеся в открытом доступе. Однако, они имеют более грубое разрешение и на их точность оказывают влияние различные ошибки, связанные с методом получения данных (длина и ориентация базовой линии, фаза, наклонная дальность и положение антенны), обработкой измерений, а также с влиянием рельефа, растительности и земного покрова. Поэтому вертикальная точность ЦМР должна быть исследована для каждой отдельной территории. Одним из методов для улучшения точности как моделей ГГМ, так и ЦМР, считаются наземные измерения, такие как GNSS.

Во второй главе диссертации «**Определение высот с использованием современных глобальных гравитационных моделей Земли и геоинформационных программ**» рассмотрены вопросы использования данных аномалий высот современных моделей ГГМ, являющихся в данном случае наиболее рентабельной альтернативой для трансформации высот.

Для решения практических задач локального характера (например, т.к. вычисление площадей земель, длин линий и т.д.) необходимо обеспечить максимальное сближение локального и глобального геоцентрического эллипсоида. На начальном этапе исследования выполнено сравнение значений нормальных высот по данным классического нивелирования и геодезических высот по GNSS измерениям. Выявлено, что для территории самого разлома и горных окрестностей долины получаются значительные величины расхождений от -49 м до -44 м. Это объясняется наличием сильных гравитационных аномалий не только в районе самой котловины, но по всей территории и доказывает необходимость выбора подходящей модели геоида для выполнения GNSS-нивелирования (Рис.2).

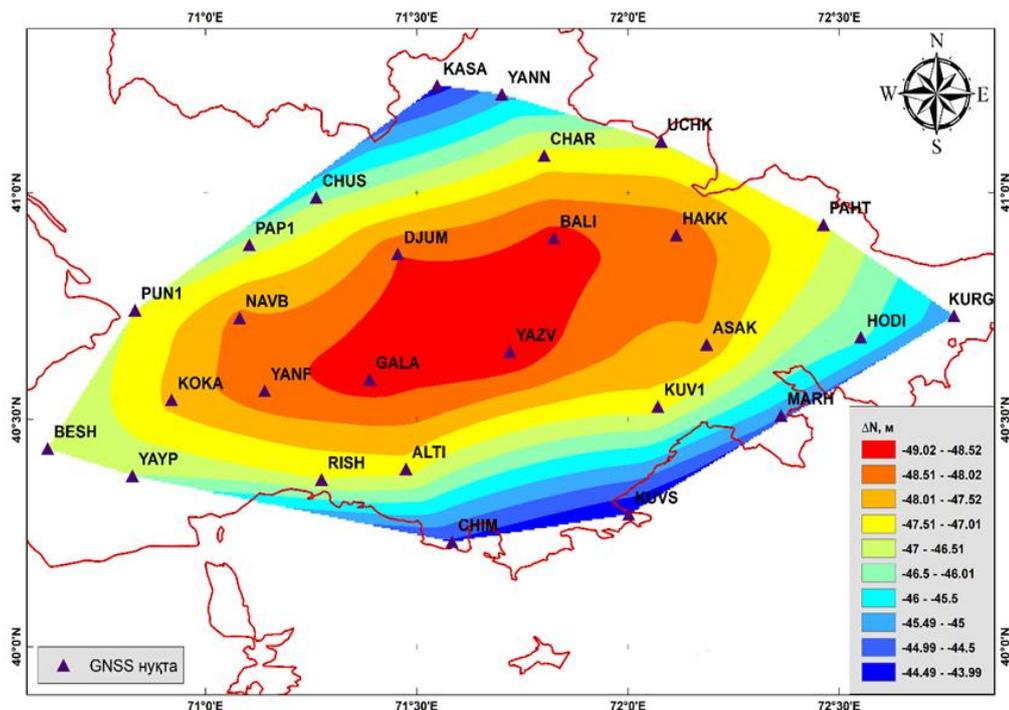


Рис.2. Вычисленные значения аномалий высот пунктов

Для анализа выбраны следующие данные:

1) результаты классического геометрического нивелирования 1 класса, выполненные в рассматриваемой области в период 1911-1936 гг. различными учеными и доступные в базе Международного гравиметрического бюро Тулузы;

2) значения геодезических высот 27 пунктов, за период 2010-2015 гг. с помощью GNSS измерений в Ферганской долине Национальным центром геодезии и картографии Республики Узбекистан (рис.1);

3) значения аномалий высот по различным современным гравитационным моделям (табл.1), вычисленные с использованием онлайн сервиса немецкого центра исследования Земли GFZ Calculation Service of the International Center of Global Terrestrial Models (ICGEM).

Проведено исследование различных моделей ГГМ, предоставляемых базой данных немецкого центра исследования Земли GFZ Calculation Service of the International Center of Global Terrestrial Models (ICGEM). На основе анализа источников в первой главе для исследования точности были выбраны две группы моделей ГГМ. Первая из них, наиболее часто используемые, комбинированные высокоточные модели ГГМ, такие как EGM96, EGM2008, EIGEN-6C4 и др., созданные на основе совместной обработки спутниковых и наземных измерений. Для многих практических приложений в республике, к примеру, используется модель EGM2008, но оценка ее точности, особенно для горных районов не проводилась ранее. Вторая группа – модели, созданные на базе проекта Европейского Космического Агентства (ESA) GOCE, которые в последние годы относят к наиболее точным по сравнению с другими моделями (1-2 см для определения высот геоида) (Табл.1).

Таблица 1.

Характеристики высокостепенных моделей ГГМ

Номер модели	Модель	Год	Степень	Описание исходных данных*	Авторы
104	EGM2008	2008	2190	А, Г, С(GRACE),	Pavlis N.K. и д.
114	EIGEN-51C	2010	359	А, Г, С (CHAMP), С (GRACE)	Bruinsma S.L. и д.
131	EIGEN-6C2	2012	1949	А, Г, С(GOCE), С(GRACE), С(Lageos)	Christoph Förste и д.
139	EIGEN-6C3stat	2014	1949	А, Г, С(GOCE), С(Grace), С(Lageos)	Christoph Förste и д.
148	EIGEN-6C4	2014	2190	А, Г, С(GOCE), С(GRACE), С(Lageos)	Christoph Förste и д.
152	GECO	2015	2190	EGM2008, С(GOCE)	Gilardoni M. и д.

155	EIGEN-6S4 (v2)	2016	300	C(GOCE), C(GRACE), C(Lageos)	Förste C. и Bruinsma S.L.
166	GOSG01S	2018	220	C(GOCE)	Xu X. и д.
167	SGG-UGM- 1	2018	2159	EGM2008, C(GOCE)	Liang W. и д., Xu X. и д.

Примечание: С-спутниковые данные, Г-гравиметрические данные, А-альтиметрические данные.

Для этой цели были проанализированы возможности международного онлайн сервиса ICGEM. Данный сервис позволяет вычислить аномалии высоты в задаваемых пользователем контрольных точках над эллипсоидом WGS84 для глобальной модели с шагом $1^\circ \times 1^\circ$ по формуле:

$$N_{ГГМ} = \frac{fM}{\gamma(B,L,h)r} \sum_{n=2}^N \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n \bar{P}_{nm}(\sin \varphi) (\bar{C}_{nm} \cos \lambda + \bar{S}_{nm} \sin \lambda) \quad (2)$$

здесь B, L – геодезические координаты определяемой точки в системе WGS84, h – нормальная высота определяемой точки, fM – произведение гравитационной постоянной на массу Земли, a – большая полуось эллипсоида WGS84, γ – нормальное ускорение силы тяжести, φ, λ, r – сферические геоцентрические координаты определяемой точки (широта, долгота, радиус-вектор), $\bar{P}_{nm}(\sin \varphi)$ – полностью нормированные присоединенные функции Лежандра, $\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$ – нормированные гармонические коэффициенты аномального геопотенциала, N – предел суммирования сферических гармоник (n, m – соответственно степень и порядок гармоник).

Для оценки точности моделей ГГМ вычислена разность $\Delta H(P)$ между вычисленными по моделям и GNSS измерениям нормальными высотами пунктов, согласно формуле (1) $H_{ГГМ}(P)$ и высотами, полученными непосредственно по результатам классического нивелирования $H_{классич}(P)$:

$$\Delta H(P) = H_{ГГМ}(P) - H_{классич}(P) \quad (3)$$

Анализ статистических данных вычисленных разностей (Табл.2) показал, что в отличие от наиболее часто используемой на практике модели EGM2008 лучшие результаты показали европейская комбинированная модель EIGEN-6C4 и модели, полученные по спутниковой градиометрической миссии GOCE EIGEN-6C3stat, SGG-UGM-1 и EIGEN-6C2.

Таблица 2.

Статистика разницы нормальных высот по моделям ГГМ и классическим данным

	Модель	Минимум, м	Максимум, м	Среднее, м	СКО, м
1.	EGM2008	-0,01	0,49	0,31	0,12
2.	EIGEN-51C	-0,58	1,59	0,39	0,59
3.	EIGEN-6C2	-0,06	0,20	0,11	0,07

4.	EIGEN-6C3stat	-0,11	0,20	0,09	0,07
5.	EIGEN-6C4	-0,14	0,21	0,07	0,07
6.	GECO	-0,27	0,46	0,03	0,18
7.	EIGEN-6S4	-0,62	1,16	0,20	0,42
8.	GOSG01S	-0,34	1,60	0,53	0,47
9.	SGG-UGM-1	-0,08	0,24	0,12	0,07

Значительные расхождения между модельными и измеренными высотами (Рис.3) остаются в горных районах территории.

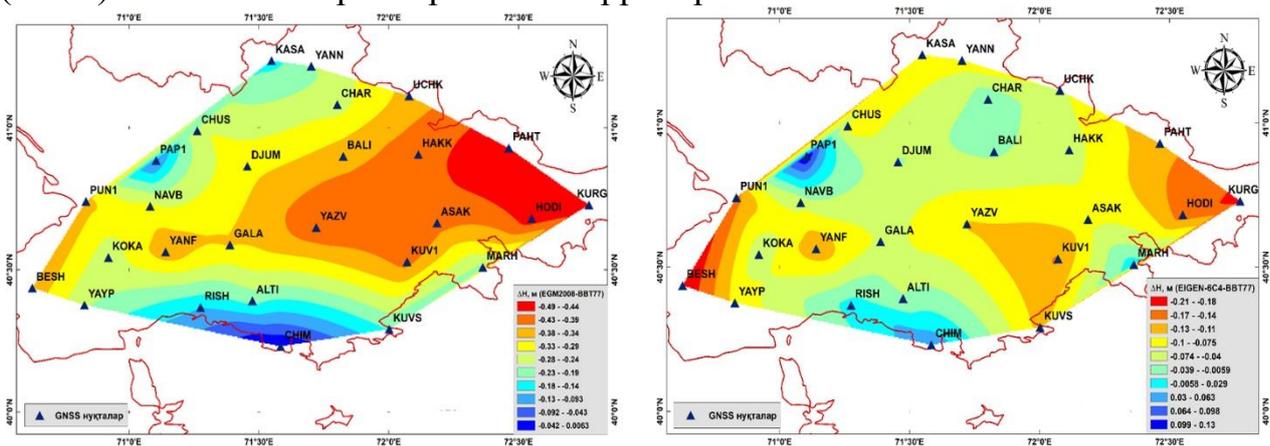


Рис.3. Разница между нормальными высотами, вычисленным по моделям ГГМ EGM2008 (слева) и EIGEN-6C4 (справа) и классическим данным

Кроме того, для большинства моделей ГГМ оказывают влияние и зоны тектонических разломов. Наиболее приближена к поверхности, полученной по классическим измерениям, поверхность, построенная по модели ГГМ EIGEN-6C4. Для нее разница значений в контрольных точках получена в диапазоне от -0,14 м до 0,21 м, со средним значением 0,07 м. Полученные результаты показали, что модель EIGEN-6C4 является наиболее лучшей моделью ГГМ для Ферганской долины с общим уровнем точности около $\pm 0,07$ м и ее можно рекомендовать для проектов GNSS, ГИС, геодезии и геоинформатики для Ферганской долины до полной реализации национальной модели геоида Республики Узбекистан.

В третьей главе диссертации «Улучшение точности цифровых моделей рельефа на основе GNSS измерений» были рассмотрены три глобальные цифровые модели рельефа (ЦМР), созданные с помощью технологии дистанционного зондирования Земли высокого разрешения (1 угловая секунда). Основным преимуществом выбранных моделей является их доступность, а не точность. Первая из них, SRTM, создана Национальным управлением по авиации и исследованию космического пространства (NASA) и Национальным геопространственным агентством (NGA) при участии немецких и итальянских космических агентств. SRTM получена с помощью интерферометрического радиолокационного метода InSAR. Вторая модель ASTER GDEM, также относится к наиболее популярным

используемым моделям и создана с помощью оптической стереоскопии. И, третья ЦМР, которую можно рассматривать как альтернативу ASTER GDEM, модель ALOS, в которой также используется оптическая стереоскопия. Версии использованных ЦМР, источники данных и подробные технические характеристики даны в табл.3.

Таблица 3.

Описание цифровых моделей рельефа

Данные	SRTM30 v. 2.0	ASTER GDEM v.2	ALOS World 3D
Источник	Space Shuttle Radar	ASTER	DAICHI/ALOS
Период наблюдения	с 11 февраля 2000 г. 22 февраля 2000 г.	1 марта 2000 г. - 30 ноября 2013 г.	с 2006 по 2011 год
Пространственное разрешение, м	30	30	30
Модель геоида	EGM96	EGM96	EGM96
Эллипсоид	WGS84	WGS84	WGS84
Тип данных	радиолокационные	Оптическая стереоскопия	Оптическая стереоскопия
Вертикальная точность (LE90), м	<10	<15-20	<7

В данном исследовании уменьшение ошибок, возникающих при вычислении нормальных высот по уравнению (1), выполнено с помощью введения параметрической модели (или корректирующей поверхности) – геометрического метода. Аномалии высот геоида для ур. (1) N по глобальной модели ГГМ EGM96 определялись с помощью сервиса Международного центра глобальных моделей Земли (ICGEM).

Геометрический метод базируется на моделировании и последующей интерполяции на заданную область значений разности между высотой геоида по данным GNSS-нивелирования и высотой геоида по EGM96 в «общих» точках:

$$\Delta N_i = N_i^{\text{GNSS/нивелирование}} - N_i^{\text{EGM96}} \quad (4)$$

Для каждого пункта определяется полиномиальный тренд T . В данной работе выбран полином первой степени:

$$T_i = a_0 + a_1 B_i + a_2 L_i \quad (5)$$

где коэффициент a_0 описывает уклон, a_1, a_2 характеризуют наклон плоскости геоида относительно эллипсоида WGS84, а B_i и L_i представляют собой направления на север и восток в некоторой плоской системе координат. И, соответственно, уравнение корректирующей поверхности (corrector surface fitting) определяется как:

$$f(B_i, L_i) = dN_i = \Delta N_i - T_i \quad (6)$$

Скорректированные значения аномалий высот геоида определяются выражением:

$$N_i^{\text{УТОЧН.}} = N_i^{\text{EGM96}} + T_i + dN_i \quad (7)$$

Используя глобальную сетку высоты геоида размером $1^\circ \times 1^\circ$ EGM96 (рис. 4а), был построен набор данных корректирующей поверхности $1^\circ \times 1^\circ$ для исследуемой области (рис. 4б). Поверхность была создана с использованием интерполяции *Kriging*, одного из наиболее подходящих методов для обеспечения точной аппроксимации высот геоида в горных районах. Диапазон значений поправок к высоте геоида составил от -1,1 м до 1,7 м.

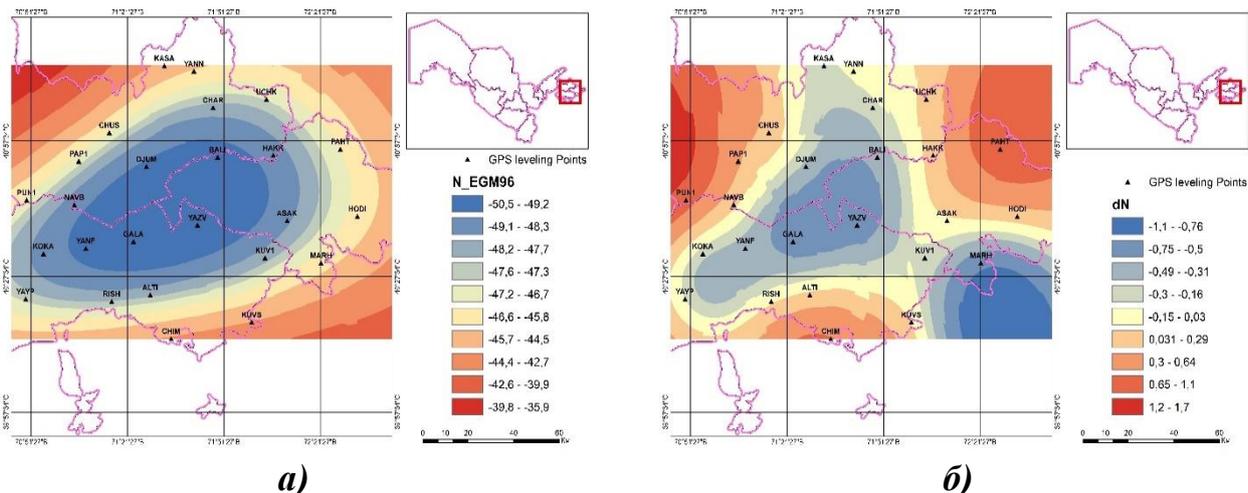


Рис 4. Аномалии высот по модели EGM96 (а) и корректирующая поверхность (б)

После завершения этапа предварительной обработки (моделирования локального геоида) для каждой ЦМР были получены значения высоты эллипсоида. Значения средней высоты колеблются для всех ЦМР от 471 м до 480 м и сопоставимы с измерениями GNSS. Статистические данные о диапазоне высот, среднем значении и стандартном отклонении для SRTM30, ASTER GDEM2, ALOS AW3D30 и эталонных высот эллипсоидальных высот GNSS представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Сводная статистика ЦМР

Модель	Мин, м	Макс, м	Сред, м	СКО, м	Уравнение корреляции GNSS и ЦМР	Коэффициент корреляции R
GNSS	330,080	836,060	485,922	11,02		
SRTM30	324,284	823,250	476,552	10,95	$y = 0,989x - 4,182$	0,9996
ASTER	326,362	808,831	470,957	10,93	$y = 0,985x - 7,736$	0,9981

ALOS AW3D30	324,771	830,344	479,847	11,02	$y = 0,999x - 5,914$	0,9997
----------------	---------	---------	---------	-------	----------------------	--------

Мы также рассчитали линейную корреляцию между значениями высоты эллипсоида, полученными с помощью GNSS, и цифровыми моделями высот для каждой ЦМР. Коэффициент корреляции R был получен равным 0.99 для всех случаев и не выявил существенной разницы между тремя моделями ЦМР и эталонными данными GNSS. Разница между высотами по ЦМР и GNSS (остатки) представляют ошибки для каждого пункта и могут быть использованы для более детальной оценки производительности моделей. Результирующая однородная поверхность, полученная методом *Кригинг* для данных остатков (GNSS-SRTM30), (GNSS-ASTER GDEM2) и (GNSS-ALOS AW3D30), показана на рис. 5 (а-с). Разница значений составила от 2,07 м до 15,4 м, от 1,42 м до 30,6 м, от 1,49 м до 10,6 м соответственно для SRTM30, ASTER GDEM2 и ALOS AW3D30.

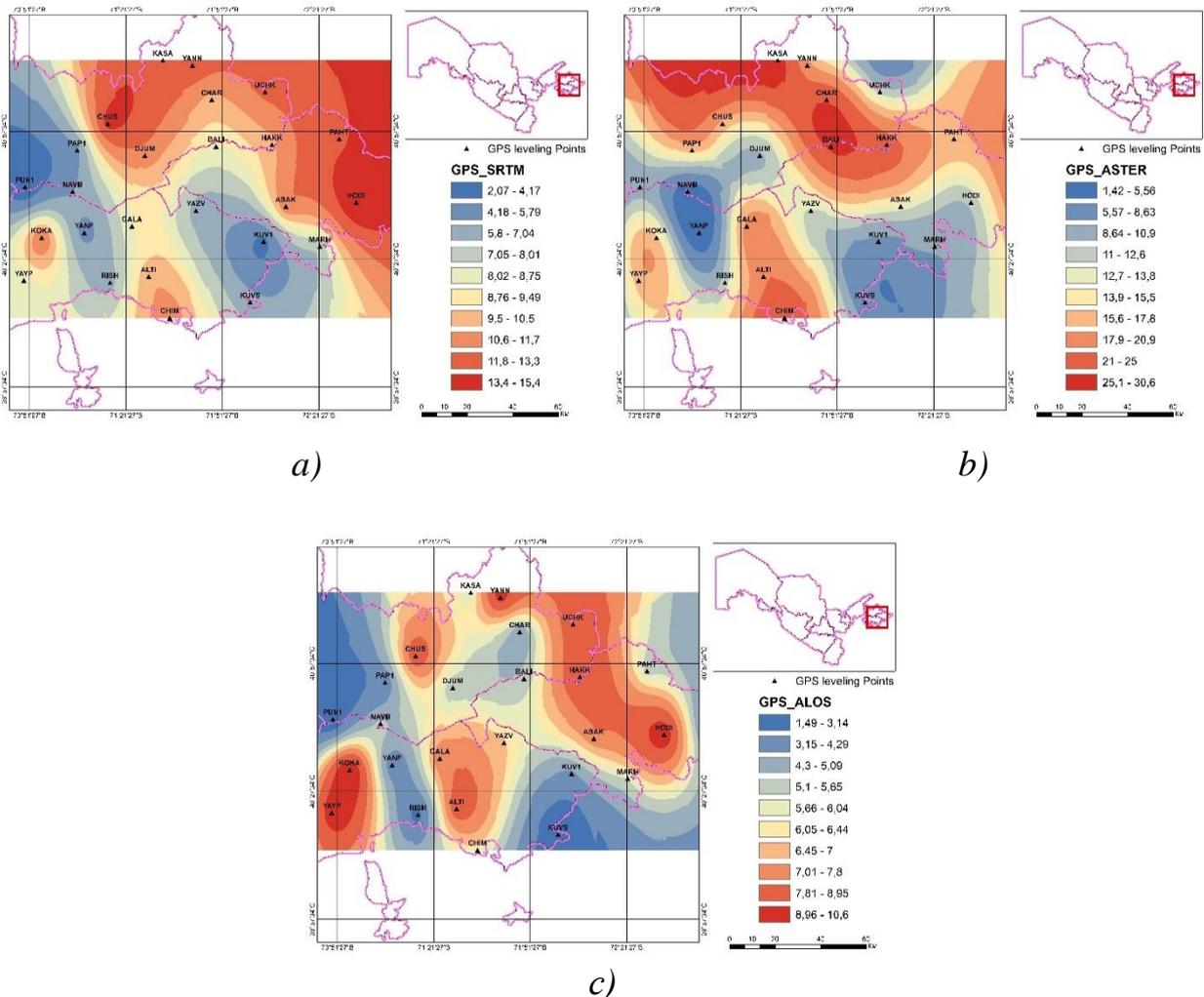


Рис 5. Разница между эллипсоидальным распределением высот, полученным с помощью GNSS и ЦМР: (а) SRTM30, (б) ASTER GDEM2, (с) ALOS AW3D30

Для оценки точности рассчитывались среднеквадратичная ошибка (RMSE), средняя арифметическая ошибка (ME), абсолютная вертикальная точность при уровне достоверности 90% (LE90). Первая из них, RMSE, характеризует разницу между смоделированными значениями Z_{MODEL} и эталонными (Z_{GNSS} в нашем случае). Вторая, ME дает оценку смещения от эталонной модели. А абсолютная вертикальная точность LE90 может быть оценена на основе RMSE.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{GNSS} - Z_{MODEL})^2} \quad (8)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{GNSS} - Z_{MODEL}) \quad (9)$$

$$LE90 = RMSE \times 1.6449 \quad (10)$$

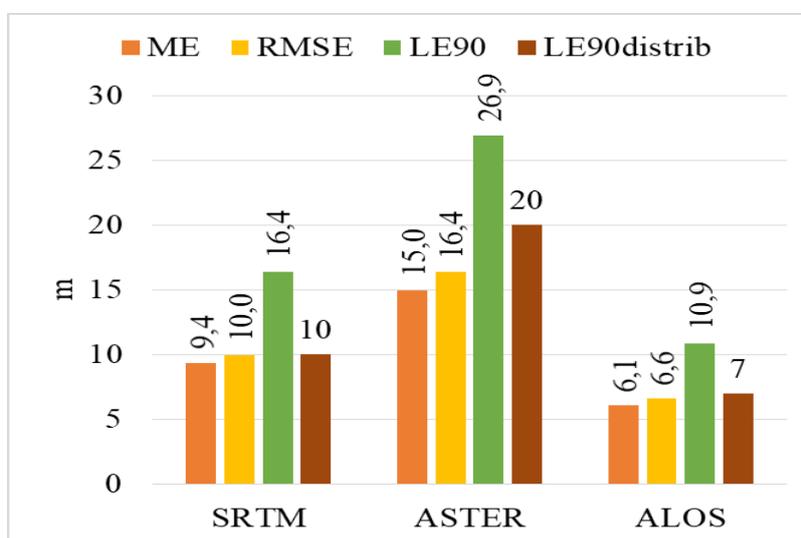


Рис.6. Сравнительная статистика ЦМР

Несмотря на то, что все три ЦМР показали большие ошибки в определении абсолютных высот относительно уровня моря, средние значения и стандартные отклонения перепадов высот у ALOS AW3D30 значительно лучше по сравнению с SRTM30 и ASTER GDEM2. Мы обнаружили, что точность ALOS AW3D30 выше, чем SRTM30 и ASTER GDEM2. При этом получены значения RMSE и ME 6,6 м и 6,1 м соответственно. Вероятно, это обусловлено тем, что ALOS AW3D30 имеет определенные преимущества перед SRTM30, поскольку его стереопары-сенсоры могут захватывать изображения с высоким разрешением на очень крутых и сложных ландшафтах, таких как наша территория исследования.

ВЫВОДЫ

1. Для повышения эффективности геоинформационных систем и обеспечения геопространственного моделирования динамики объектов

окружающей среды усовершенствован метод вычисления нормальных высот на основе совместного использования данных GNSS-нивелирования и глобальных гравитационных моделей.

2. Выполнена оценка точности значений аномалий высот на основе традиционных измерений, данных GNSS, глобальных гравитационных моделей спутниковых миссий GOCE, CHAMP и GRACE. В результате, выявлено, что аномалии высот для горных районов и вдоль тектонических разломов составляют от -49 м до -44 м. Наличие гравитационных аномалий подтверждает необходимость выбора модели геоида для выполнения GNSS-нивелирования.

3. Определена лучшая ГГМ EIGEN-6C4 для использования в топографических работах в Ферганской долине. СКО $\pm 0,07$ м говорит о том, что модель обладает высокой точностью и надежностью при расчетах аномалий высот. Полученный результат является важным этапом в улучшении качества геодезических измерений и визуализации геопространственных данных.

4. Выявлено, что на значения аномалий высот оказывают влияние как тектонические, так и рельефные особенности местности. Учет этих факторов позволяет улучшить точность и надежность результатов геодезических измерений, которые затем могут использоваться для создания цифровых моделей рельефа и геопространственных карт.

5. Выявлена зависимость влияния вертикальной точности ЦМР от географического положения, метода съемки, ориентации стереопар снимков, метода интерполяции, что имеет важное значение для решения таких задач как планирование градостроительства, оценка рисков природных катастроф и разработка геологических карт.

6. Создана корректирующая поверхность аномалий высот для Ферганской долины с использованием глобальной гравитационной модели EGM96. Важно отметить, что поправки аномалий высот варьировались от -1,1 м до 1,7 м. Эти значения указывают на значительную изменчивость аномалий высот в рамках Ферганской долины, что может быть связано с ее геологическими особенностями.

7. Создана усовершенствованная цифровая модель рельефа с использованием данных GNSS, а также ЦМР SRTM, ASTER GDEM и ALOS AW3D30. Вертикальная точность (LE) цифровой модели рельефа SRTM составила 16,4 метра, ASTER GDEM - 26,9 метра, а ALOS AW3D30 - 10,7 метра. Это указывает на значительное улучшение точности цифровых моделей рельефа по сравнению с исходными показателями, что повышает качество и достоверность геопространственных данных, основанных на данной модели рельефа.

8. Оценка точности ЦМР показала, что для практических задач в исследуемой области рекомендовано использовать ALOS AW3D30.

**ONE-TIME SCIENTIFIC COUNCIL AT THE SCIENTIFIC COUNCIL
AWARDING OF THE SCIENTIFIC DEGREES DSc.03/30.12.2019.Gr.01.06
AT THE NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN

ARABOV OBIDJON ZARIP UGLI

**IMPROVEMENT OF THE HEIGHT SYSTEM CALCULATION OF THE
FERGHANA VALLEY BASED ON MODERN SATELLITE
TECHNOLOGIES**

11.00.07 – Geoinformatics

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON
GEOGRAPHICAL SCIENCES**

Tashkent – 2023

The topic of the doctoral dissertation (PhD) has been registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under the number B2022.1. PhD/Gr191.

The dissertation was completed at the National university of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) is posted on the website of the Scientific Council at (www.nuu.uz) and on the Information and Educational Portal «Ziyonet» at (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser: **Fazilova Dilbarkhon Shamuradovna**
doctor of physical and mathematical sciences,
senior researcher

Official opponents: **Rafikov Vahob Asomovich**
doctor of geographical sciences, professor
Sabitov Timur Yuryevich
doctor of philosophy in geography (PhD)

Leading organization: **Karakalpak State university**

The defense of the dissertation will take place on 6 October 2023 in 14:00 at the meeting of one-time scientific council of Scientific DSc.03/30.12.2019.Gr.01.06 at the National university of Uzbekistan (Address: University str., 4. Tashkent, 100174. Tel.: (+99871) 227-12-24. fax: (+99871) 246-53-21; 246-02-24. E-mail: ik-geografiya.nuuz@mail.ru. Faculty of Geography and Geoinformation Systems, National university of Uzbekistan).

The dissertation is registered in Information Resource Center (IRC) of National university of Uzbekistan under No___. (Address: University Street, 4. 100174, Tashkent. Tel.: (+99871) 246-67-71.

The abstract of dissertation has been distributed on 25 September 2023 year.
(Protocol at the register No.54 dated 25 September 2023 year).

N.Sabitova
Chairwoman of the one-time scientific council
for awarding scientific degrees,
doctor of geographical sciences, professor

Sh.Sharipov,
Scientific secretary of the one-time scientific council
for awarding scientific degrees,
doctor of geographical sciences, docent

Z.Tajieva,
Chairwoman of the one-time scientific seminar under the
one-time scientific council for awarding scientific degrees,
doctor of geographical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract to PhD dissertation)

The purpose of the research is to improve the normal height system calculation of the Ferghana Valley on the basis of satellite methods and geoinformation technologies.

The object of the research is the normal height system of the Ferghana Valley.

The subject of the research is to increase the accuracy of high-level global gravity models of the International Center for Gravity Earth Models (ICGEM) database and free digital elevation models.

Scientific novelty of the research work is as follows:

it was determined that the height anomaly obtained from global gravity models depends on the complexity of the terrain of the area;

the method of calculating normal heights based on the combined use of satellite levelling and global gravity models has been improved;

a correction surface was created for height anomalies of the EGM96 global gravity model, which provides an increase in the accuracy of digital elevation models;

it was determined that the vertical accuracy of digital elevation models depends on geographic location, systematic measurement error, orientation of stereo pair images and imaging methods.

Implementation of research results. Based on the results obtained using satellite methods to increase the accuracy of normal altitudes in the Fergana Valley area:

the method of calculating the value of normal heights based on satellite levelling data and GGMs was introduced for use in the activities of the cadastral agency under the State Tax Committee of the Republic of Uzbekistan in field geodetic works in the Fergana Valley (Certificate No. 08-11028 dated December 7, 2022 of the Cadastral agency under the State Tax Committee of the Republic of Uzbekistan). As a result, it is possible to determine the normal height values of reference points of regions where geoid data is not available;

based on the EGM96 GGM, the improved geoid model of the Fergana Valley region was used to calculate the initial coordinates of the new GNSS network points (Certificate No. 08-11028 dated December 7, 2022 of the Cadastral agency under the State Tax Committee of the Republic of Uzbekistan). The application of this method made it possible to estimate the normal heights of GNSS stations with low technical costs;

the improved digital elevation model based on GNSS and SRTM, ASTER GDEM, ALOS AW3D30 DEM data was introduced in the creation of watershed maps in the activities of the cadastral agency under the State Tax Committee of the Republic of Uzbekistan (Certificate No. 08-11028 dated December 7, 2022 of the Cadastral agency under the State Tax Committee of the Republic of Uzbekistan). As a result, the "Arid zones" section of the National Atlas of Uzbekistan provided an opportunity to enrich the content and increase its scientific and practical importance.

the improved digital elevation model based on GNSS and SRTM, ASTER GDEM, ALOS AW3D30 RRM data was put into practice at the cadastral agency under the State Tax Committee of the Republic of Uzbekistan in planning the use of land resources (Certificate No. 08-11028 dated December 7, 2022 of the Cadastral agency under the State Tax Committee of the Republic of Uzbekistan). As a result, it provided an opportunity to improve the work of rational use of land resources, regulation and cadastral accounting of them.

The structure and volume of the dissertation. The content of the dissertation consists of an introduction, three chapters, a conclusion, a list of references. The volume of the dissertation is 103 pages.

E'LON QILINGAN ILMIY ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS
I bo'lim (I часть; I part)

1. Фазилова Д.Ш., Арабов О.З. Исследование глобальной гравитационной модели земли EGM2008 для вычисления нормальных высот на территории Узбекистана // *Universum: технические науки*, 11(80). – Москва, 2020. – С 39-42. (02.00.00; №1).

2. Фазилова Д.Ш., Арабов О.З. Применение спутниковых методов для определения высот исходных геодезических пунктов Ферганской долины // *География жамияти ахбороти*, 59-жилд. – Тошкент, 2021. – Б.156-161. (11.00.00; №6).

3. Фазилова Д. Ш., Турсунов Б. П., Арабов О. З. Исследование точности национальной системы высот с использованием спутниковых данных // *Харбий таълим ва фанда инновациялар*, 2(11)-сон. – Тошкент, 2021. – С.101-106. (05.00.00; №34).

4. Арабов О.З., Фазилова Д.Ш. GOCE миссиясининг глобал геопотенциал моделларидан анъанавий нивелирлашнинг муқобили сифатида фойдаланиш имкониятларини ўрганиш // *Харбий таълим ва фанда инновациялар*, 1(13)-сон. – Тошкент, 2022. – Б.91-97. (05.00.00; №34).

5. Arabov O., Fazilova D. Sun'iy yo'ldosh texnologiyalari asosida balandlik tizimini takomillashtirish imkoniyatlari // *ЎзМУ хабарлари*, 3/2-сон. – Тошкент, 2022. – Б.210-212. (11.00.00; №7).

6. Arabov O.Z. Improving the accuracy of the open access digital elevation models using GNSS: case Fergana valley // *EPRA International Journal of Economic Growth and Environmental Issues*. – India, 2022. Issue 4, vol. 10. ISSN: 2321-6247. – P. 1-5. (*Yirik nashriyotlar va ma'lumotlar bazasi: Scientific Journals Impact Factor №23. IF-8.047 (2021)*).

7. Fazilova, D. and Arabov, O. Vertical accuracy evaluation free access digital elevation models (DEMs): case Fergana Valley in Uzbekistan // *Earth Sciences Research Journal*, Vol. 27, No. 2, 2023. – P. 85–91. DOI: <https://doi.org/10.15446/esrj.v27n2.103801>. (*Yirik nashriyotlar va ma'lumotlar bazasi: Web of Science №1*)

II bo'lim (II часть; II part)

8. Файзиев Н.А., Арабов О.З. Юртимизда барпо этилаётган замонавий давлат сунъий йўлдош геодезик тармоғи // *Глобаллашув жараёнида география: муаммо ва ечимлар. Иқтидорли талабалар ва ёш олимларнинг илмий-амалий конференция материаллари*. – Тошкент, 2014. – Б. 287-289.

9. Арабов О.З. Геоид сатҳини аниқлашда GNSS ва GLONASS сунъий йўлдош тизимларини аҳамияти // *Замонавий географик тадқиқотлар: муаммо ва ечимлар. Республика илмий-амалий конференция материаллари*. – Андижон, 2016. – Б. 220-221.

10. Арабов О.З. Ернинг глобал геопотенциал моделларининг қиёсий таҳлили // Географик тадқиқотлар: инновацион ғоялар ва ривожланиш истиқболлари. Халқаро илмий-амалий конференция материаллари. – Тошкент, 2021. – Б. 598-600.

11. Арабов О.З. Баландлик тизимини такомиллаштиришда глобал геопотенциал моделларининг аҳамияти // Международная научная конференция молодых учёных «Наука и инновации». – Тошкент, 2021. – Б. 379-380.

12. Арабов О.З. Применение метода Гаусса при расчете нормальных высот с высокой точностью // Актуальные проблемы геодезии, картографии, кадастра, геоинформационных технологий, рационального земле- и природопользования. Международной научно-технической конференции, – Новополюцк, 2022. – С. 11-13.

13. Арабов О.З., Фазилова Д.Ш. Уточнение цифровых моделей рельефа с помощью GNSS измерений: на примере Ферганской долины // Актуальные вопросы геодезии и геоинформационных систем. XI Международная научно-практическая конференция. – Казань, 2022. – С. 20-23.

14. Арабов О.З., Фазилова Д.Ш. Баландлик тизими ва унинг геоинформатика масалаларини ечишдаги ўрни // Фундаментал ва амалий географик тадқиқотларда инновациялар. Республика илмий-амалий конференция материаллари. – Тошкент, 2022. – Б. 328-330.

15. Арабов О.З., Эрматов Р.Р., Фазилова Д.Ш. Рақамли рельеф моделларининг аниқлигини ошириш масалалари // Худудларнинг барқарор ривожланишини геоахборот жиҳатдан таъминлаш. Республика илмий-амалий конференция материаллари. – Тошкент, 2022. – Б. 162-166

Avtoreferat “O‘zbekiston Geografiya jamiyati axboroti” jurnalida tahrirdan
o‘tkazildi

Bosmaxona litsenziyasi



1193

Bichimi: 84x60 1/16: “Times New Roman” garniturası.
Raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog‘i: 2,75. Adadi 60 dona. Buyurtma № 5.

Guvohnoma №1071890.
Toshkent shahri, Olmazor tumani, Talabalar shaharchasi,
Yoshlar Markazi majmuasi.